

e-ISSN: 2782-7445

p-ISSN: 2686-7818

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2025, №3 (30)

СЕТЕВОЕ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ
ИЗДАНИЕ

***Expert:
theory and practice***

12+

АНО «ИССТЭ»
Тольятти/Tolyatti



Учредитель

Учредитель: Автономная некоммерческая организация "Институт судебной строительно-технической экспертизы" (АНО "ИССТЭ"), соучредители: ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.», Анпилов С.М., Матвеева М.М., Сорочайкин И.А.

Издаётся с 2019 г. Выходит 4 раз в год.

е-ISSN: 2782-74445; префикс DOI: 10.51608/26867818

Сетевое издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77-83498 от 24.06.2022 года.

Сетевое издание «Эксперт: теория и практика» включено в категорию К2 перечня ВАК Минобрнауки РФ ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по научным специальностям:

- 1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела (физико-математические науки) с 22.03.2022 г.; (технические науки) с 15.02.2023 г.;
- 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки с 27.01.2021 г.);
- 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки с 27.01.2021 г.);
- 2.1.9. Строительная механика (технические науки с 15.11.2021 г.)

Сетевое издание включено в базы данных: РИНЦ eLIBRARY.ru, КиберЛенинка.



©2025 Контент доступен по лицензии CC BY-NC 4.0

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Редакционный совет:

ПЕТРОВ Владилен Васильевич – председатель редакционного совета, академик РААСН, Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина
АКИМОВ Павел Алексеевич – академик РААСН, профессор, доктор технических наук, ректор Московского государственного строительного университета

АХМЕДОВА Елена Александровна – академик РААСН, доктор архитектуры, профессор, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, заведующая кафедрой «Градостроительство», Самарский государственный технический университет

БЕККЕР Александр Тевьевич – академик РААСН, Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор, научный руководитель Политехнического института Дальневосточного федерального университета (Владивосток, Россия)

БЕЛОСТОЦКИЙ Александр Михайлович – академик РААСН, доктор технических наук, профессор, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Московский государственный строительный университет

ГАДЖИЕВ Мухлис Ахмед оглы – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции», Азербайджанский университет архитектуры и строительства (Азербайджан, Баку)

ГЕЛЬФОНД Анна Лазаревна – академик РААСН, Заслуженный работник культуры РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор архитектуры, профессор, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович – академик РААСН, Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, Московский государственный строительный университет

ИЛЬИЧЕВ Владислав Александрович – академик РААСН, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Почетный строитель, доктор технических наук, профессор, вице-президент по направлению «Инновации», Российская академия архитектуры и строительных наук (Москва, РФ)

ИСАКУЛОВ Байзак Разакович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Дизайн и строительство», «Баишев Университет» (Казахстан, Актобе)

КАПРИЕЛОВ Семен Суменович – академик РААСН, доктор технических наук, профессор, Российская академия Архитектуры и строительных наук (Москва, Россия)

ЛЯХОВИЧ Леонид Семенович – академик РААСН, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Почетный строитель, доктор технических наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет

ЛЯЧЕНКОВ Николай Васильевич – лауреат Государственной премии Совета министров СССР, Почетный гражданин г.о. Тольятти, действительный член Российской Академии естественных наук, член-корреспондент Международной инженерной академии, доктор технических наук, профессор, эксперт, АНО ИССТЭ (Тольятти, Россия)

МАИЛЯН Левон Рафаэлович – академик РААСН, Заслуженный строитель РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильных дорог, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Россия)
РИМШИН Владимир Иванович – член-корреспондент РААСН, Заслуженный строитель РФ, доктор технических наук, профессор, руководитель Института развития города Университета Минстроя (НИИСФ РААСН) (Москва, Россия)

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович – академик РААСН, Заслуженный деятель науки РФ и РМ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск, Россия)

СОРОЧАЙКИН Андрей Никонович – заместитель главного редактора, Почетный строитель, кандидат экономических наук, доктор философских наук; директор, профессор кафедры судебной экспертизы, АНО ИССТЭ (Тольятти, Россия)

ТРАВУШ Владимир Ильич – академик РААСН, Заслуженный деятель науки РФ, Заслуженный строитель РФ, Лауреат Государственной премии РФ в области науки и технологий, Лауреат Премии Совета Министров СССР, дважды Лауреат Премии Правительства РФ, доктор технических наук, профессор, вице-президент, Российская академия архитектуры и строительных наук (Москва, Россия)

ТРЕЩЁВ Александр Анатольевич – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства, строительных материалов и конструкций, Тульский государственный университет

ХАРИТОНЧИК Сергей Васильевич – доктор технических наук, доцент, ректор Белорусского Национального технического университета (Республика Беларусь, Минск)

Адрес редакции: 445047 Самарская область, г. Тольятти,

Южное шоссе, дом 35А, офис 401, e-mail: expert763@mail.ru; <http://expert763.ru>

Founder: Independent Noncommercial Organization "Institution of Forensic Construction and Technological Expertise" (INO "IFCTE"), **co-founders:** Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Anpilov S.M., Matveeva M.M., Sorochaikin I.A.

Published since 2019. Published 4 times a year.
e-ISSN: 2782-7445; prefix DOI: 10.51608/26867818

The certificate of mass media registration **EL № ФЦ 77-83498** issued by Federal Service of Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications

The online edition is **listed on Higher Attestation Commission** within the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as one of the leading peer-reviewed scientific journals and publications, in which the main results of the Ph.D. thesis in these scientific specialties are to be published:

- 1.1.8. Mechanics of a deformable solid body (physical and mathematical sciences since 22.03.2022; technical sciences since 15.02.2023);
- 2.1.1. Building structures, buildings and facilities (technical sciences since 27.01.2021);
- 2.1.5. Building materials and articles (technical sciences since 27.01.2021);
- 2.1.9. Structural mechanics (technical sciences since 15.11.2021).

The online edition is included Russian Science Citation Index (RSCI), CyberLeninka



© 2025 Контент доступен по лицензии CC BY-NC 4.0
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Editorial Board:

Vladilen V. PETROV – Academician of RAACS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (Saratov, Russia)
Pavel A. AKIMOV – Academician of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Rector of the Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)
Elena A. AKHMEDOVA – Academician of RAACS, Dr. of Architecture, Prof., Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Head of the Department of Urban Planning, Samara State Technical University (Samara, Russia)
Alexander T. BEKKER – Academician of RAACS, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Scientific Director of the Polytechnic Institute of the Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russia)
Alexander M. BELOSTOTSKIY – Academician of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)
Mukhlis Ahmed oglu HAJIYEV – Dr. of Technical, Prof., Head of the Department "Building Structures", Azerbaijan University of Architecture and Construction (Baku, Azerbaijan)
Anna L. GELFOND – Academician of the RAACS, Honored Worker of Culture of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Dr. of Architecture, Prof., Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (Nizhny Novgorod, Russia)
Vladimir T. EROFEEV – Academician of RAACS, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)
Vladislav A. ILYICHEV – Academician of the RAACS, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Honorary Builder, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President in the direction of "Innovation", Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russia)
Bayzak R. ISAKULOV – Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Design and Construction, Baishev University (Aktobe, Kazakhstan)
Semyon S. KAPRILOV – Academician of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russia)

Leonid S. LYAKHOVICH – Academician of the RAACS, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Honorary Builder, Doctor of Technical Sciences, Professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering
Nikolai V. LASCENCOV – Laureate Of the state prize of the Council of Ministers of the USSR, Honorary citizen of Togliatti, Full Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Corresponding Member of the International Engineering Academy, Dr. of Technical, Prof., expert, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)
Levon R. MAILYAN – Academician of RAACS, Honored Builder of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Prof. of the Department of Roads, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)
Vladimir I. RIMSHIN – Corresponding Member of RAACS, Honored Builder of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Head of the Institute of City Development of the University of Ministry (Moscow, Russia)
Vladimir P. SELYAEV – Academician of RAACS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Building Structures, Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Saransk, Russia)
Andrey N. SOROCHAIKIN – Candidate of Economic, Dr. of Philosophy, Honorary Builder; Director, Professor of the Department of Forensic Examination, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)
Vladimir I. TRAVUSH – Academician of RAACS, Honored Scientist of the Russian Federation, Honored Builder of the Russian Federation, Laureate of the State Prize of the Russian Federation in the field of science and technology, Laureate of the Prize of the Council of Ministers of the USSR, twice Laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Vice President, Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russia)
Alexander A. TRESCHKEV – Corresponding Member of the RAACS, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Construction, Building Materials and Structures, Tula State University (Tula, Russia)
Sergey V. KHARITONCHIK – Dr. of Technical Sciences, Associate Professor, Rector of the Belarusian National Technical University (Republic of Belarus, Minsk)

Editorial office: 445047, office 401, the house 35A, Southern Highway, Tolyatti, Samara region, e-mail: expert763@mail.ru; <http://expert763.ru>

Редакционная коллегия:

МУРАШКИН Василий Геннадьевич – главный редактор, кандидат технических наук, доцент, АНО "ИССТЭ" (Тольятти, Россия)

АНПИЛОВ Сергей Михайлович – заместитель главного редактора, Заслуженный изобретатель РФ, Почетный строитель, доктор технических наук, советник РААСН, эксперт, профессор кафедры ЖБК, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (СИБСТРИН)

СОРОЧАЙКИН Андрей Никанорович – заместитель главного редактора, Почетный строитель, кандидат экономических наук, доктор философских наук; директор, профессор кафедры судебной экспертизы АНО ИССТЭ (Тольятти, Россия)

МАТВЕЕВА Мария Михайловна – ответственный секретарь, кандидат педагогических наук, АНО "ИССТЭ" (Тольятти, Россия)

БОСАКОВ Сергей Викторович – доктор технических наук, профессор, кафедра "Математические методы в строительстве", Белорусский Национальный технический университет (Республика Беларусь, Минск)

ВАВРЕНЮК Светлана Викторовна – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, ФГБУ "ЦНИИП Минстроя России" (Владивосток, РФ)

ВЕДЯКОВ Иван Иванович – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, директор ЦНИИ строительных конструкций им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ „Строительство“» (Москва, Россия)

ВЛАСОВ Виктор Алексеевич – Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор физико-математических наук, профессор, советник РААСН, ректор, Томский государственный архитектурно-строительный университет

ГАРИБОВ Рафаил Баширович – доктор технических наук, профессор, советник РААСН, АНО "ИССТЭ" (Тольятти, Россия)

ГЛАГОЛЕВ Вадим Вадимович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой "Вычислительная механика и математика", Тульский государственный университет

ГЛУХОВ Вячеслав Сергеевич – Заслуженный строитель РФ, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ГОГИН Александр Александрович – доктор юридических наук, доцент, профессор кафедры "Гражданское право и процесс", Тольяттинский государственный университет

ГОРДОН Владимир Александрович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

ЕРЫШЕВ Валерий Алексеевич – советник РААСН, доктор технических наук, профессор кафедры "Промышленное и гражданское строительство", Тольяттинский государственный университет

ЖАДАНОВ Виктор Иванович – Заслуженный строитель РФ, советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Оренбургский государственный университет

КОРОБКО Андрей Викторович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Мехатроники, механики и робототехники, Орловский государственный университет им. Тургенева

КОРОБКО Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор, кафедра "Строительные конструкции", Орловский государственный университет им. Тургенева

КОРОЛЬ Елена Анатольевна – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники для молодых ученых, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Почетный строитель, заведующий кафедрой организации и реновации производства Московского государственного строительного университета

КОТЛОВ Виталий Геннадьевич – доктор технических наук, профессор, советник РААСН, проректор по воспитательной работе, Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола

ЛЕСОВИК Руслан Валерьевич – доктор технических наук, профессор, советник РААСН, проректор по международной деятельности, Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова

ЛЕОНОВИЧ Сергей Николаевич – иностранный член РААСН, доктор технических наук, профессор, кафедра "Строительные материалы и технология строительства", декан строительного факультета, Белорусский Национальный технический университет (Республика Беларусь, Минск)

МАРКИН Алексей Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, кафедра "Вычислительная механика и математика", Тульский государственный университет

МЕДВЕДЕВ Валентин Григорьевич – доктор юридических наук, доцент, профессор кафедры Теории и истории государства и права, Тольяттинский государственный университет

МИРСАЯПОВ Илизар Талгатович – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, РФ)

МИРСАЯПОВ Илшат Талгатович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, РФ)

МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, доцент, директор института архитектуры, строительства и транспорта, Тамбовский государственный технический университет

НИЗИНА Татьяна Анатольевна – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, директор Института архитектуры и строительства, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск, Россия)

НИЧКАСОВ Анатолий Иванович – иностранный член РААСН, Заслуженный строитель Республики Беларусь, Председатель Союза строителей Республики Беларусь (Республика Беларусь, Минск)

ОВЧИННИКОВ Игорь Георгиевич – Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортное строительство», Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А. / Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ПИЧУГИН Анатолий Петрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Новосибирский государственный аграрный университет (Россия, Новосибирск)

ПОТАПОВ Александр Николаевич – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск, Россия)

РАХИМОВ Равиль Зуфарович – член-корреспондент РААСН, Заслуженный деятель науки РФ и РТ, Почетный строитель, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, Лауреат Государственной премии по науке и технике РТ, доктор технических наук, профессор, советник ректора, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, РФ)

САЛИЕВА Роза Наильевна – доктор юридических наук, профессор, заведующий лабораторией правовых проблем недропользования, экологии и топливно-энергетического комплекса, Академия наук Республики Татарстан

СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович – член-корреспондент РААСН, Заслуженный эколог РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор технических наук, профессор, ректор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Новосибирск, Россия)

СОКОЛОВ Борис Сергеевич – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РТ, Лауреат госпремии РТ, научный консультант АО "Казанский Гипронииавиапром"

СОЛЮАНОВ Юрий Иванович – доктор технических наук, профессор, Казанский государственный энергетический университет, президент Ассоциации «Росэлектромонтаж» (Москва)

СУЛЕЙМАНОВ Альфред Мидхатович – доктор технических наук, профессор, проректор по науке и инновациям, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, Россия)

ХОЗИН Вадим Григорьевич – Заслуженный деятель науки РФ и РТ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Технология строительных материалов, изделий и конструкций", Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ХРИСТИЧ Дмитрий Викторович – доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры "Вычислительная механика и математика", Тульский государственный университет

ШЕСТАКОВ Александр Алексеевич – доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой "Философия и социально-гуманитарные науки", Самарский государственный технический университет

Editorial Staff:

Vasily G. MURASHKIN – Editor-in-Chief, Candidate of Technical, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

Sergey M. ANPILOV – Deputy Editor-in-Chief, Expert, Honored Inventor of the Russian Federation, Dr. of Technical, Advisor to RAACS, Prof. of Novosibirsk State Architectural and Construction University

Andrey N. SOROCHAIKIN – Deputy Editor-in-Chief, Candidate of Economic, Dr. of Philosophy, Honorary Builder; Director, Professor of the Department of Forensic Examination, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

Maria M. MATVEEVA – Executive Secretary, Candidate of Pedagogical Sciences, ANO "IFCTE" (Togliatti, Russia)

Sergey V. BOSAKOV – Dr. of Technical Sciences, Prof., Department of Mathematical Methods in Construction, Belarusian National Technical University (Republic of Belarus, Minsk)

Svetlana V. VAVRENYUK – Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical Sciences, Prof., CIRI of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Vladivostok, RF)

Ivan I. VEDYAKOV – Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof., twice Laureate of the RF Government Prize in the Field of Science and Technology, Director of the Central Research Institute of Building Structures named after V.A. Kucherenko JSC "Research Center" Construction " (Moscow, Russia)

Viktor A. VLASOV – Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Advisor to the RAACS, Rector, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering

Rafail B. GARIBOV – Dr. of Technical, Prof., Advisor to RAACS, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

Vadim V. GLAGOLEV – Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Prof., Head of the Department of Computational Mechanics and Mathematics, Tula State University (Tula, Russia)

Vyacheslav S. GLUKHOV – Honored Builder of the Russian Federation, Candidate of Technical Sciences, Prof., Head of the Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering (Penza, Russia)

Alexander A. GOGIN – Dr. of Law, Associate Professor, Prof. of the Department of Civil Law and Procedure, Togliatti State University (Togliatti, Russia)

Vladimir A. GORDON – Advisor to the RAACS, Dr. of Technical, Prof., Leading Researcher, Oryol State University named after Turgenev (Oryol, Russia)

Valery A. ERY SHEV – Dr. of Technical, Advisor to RAACS, Prof. of the Department of Industrial and Civil Construction, Togliatti State University (Tolyatti, Russia)

Victor I. ZHADANOV – Honored Builder of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Building Structures, Orenburg state University (Orenburg, Russia)

Andrey V. KOROBKO – Dr. of Technical, Prof., Prof. of the Department of Mechatronics, Mechanics and Robotics, Oryol State University named after Turgenev (Oryol, Russia)

Viktor I. KOROBKO – Dr. of Technical, Prof., Department of Building Structures, Oryol State University named after Turgenev (Oryol, Russia)

Elena A. KOROL – Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology for young scientists, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honorary Builder, Head of the Department of Organization and Renovation of Production, Moscow State University Of Civil Engineering (National Research University)

Vitaly G. KOTLOV – Dr. of Technical, Prof., Vice-rector for Educational Work, Volga State Technological University (Yoshkar-Ola, Russia)

Ruslan V. LESOVIK – Doctor of Technical Sciences, Professor, Advisor to the RAACS, Vice-Rector for International Affairs, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov

Sergei N. LEONOVICH – Foreign Member of the RAACS, Dr. of Technical, Prof., Department of Building Materials and Construction Technology, Dean of the Faculty of Civil Engineering, Belarusian National Technical University (Republic of Belarus, Minsk)

Aleksey A. MARKIN – Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Prof., Department of Computational Mechanics and Mathematics, Tula State University (Tula, Russia)

Valentin Gr. MEDVEDEV – Dr. of Law, Associate Professor, Prof. of the Department of Theory and History of State and Law, Togliatti State University (Togliatti, Russia)

Ilizar T. MIRSAYAPOV – Corresponding Member of the RAACS, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, RF)

Ilshat T. MIRSAYAPOV – Dr. of Technical, Associate Prof., Head of the Department, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, RF)

Pavel V. MONASTYREV – Corresponding Member of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Architecture, Construction and Transport, Tambov State Technical University

Tatyana A. NIZINA – Dr. of Technical, Advisor to RAACS, Prof., Director of the Institute of Architecture and Construction, Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Saransk, Russia)

Anatoly I. NICHKASOV – Foreign Member of the RAACS, Honored Builder of the Republic of Belarus, Chairman of the Union of Builders of the Republic of Belarus (Republic of Belarus, Minsk)

Igor G. OVCHINNIKOV – Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Construction, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (Saratov, Russia)

Anatoly P. PICHUGIN – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Scientific Officer, Novosibirsk State Agrarian University (Russia, Novosibirsk)

Alexander N. POTAPOV – Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof., South Ural State University (Chelyabinsk, Russia)

Ravil Z. RAKHIMOV – Corresponding Member of RAACS, Honored Worker of Science of the Russian Federation and the Republic of Tatarstan, Honorary Builder, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology, Laureate of the State Prize for Science and Technology of the Republic of Tatarstan, Dr. of Technical, Prof., adviser to the rector, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, RF)

Roza N. SALIEVA – Dr. of Law, Prof., Head of the Laboratory of Legal Problems of Subsoil Use, Ecology and Fuel and Energy Complex, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan (Kazan, Russia)

Yuri L. SKOLUBOVICH – Corresponding Member of the RAACS, Honored Ecologist of the RF, Honorary Worker of Higher Professional Education of the RF, Dr. of Technical, Prof., Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Novosibirsk, Russia)

Boris S. SOKOLOV – Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof. (Kazan, Russia)

Yury I. SOLUYANOV – Dr. of Technical, Prof., Kazan State Power Engineering University, President of the Roselectromontazh Association (Moscow)

Alfred M. SULEIMANOV – Dr. of Technical, Prof., Vice-Rector for Science and Innovation, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, Russia)

Vadim G. KHOZIN – Honored Worker of Science of the Russian Federation and the Republic of Tatarstan, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department "Technology of Building Materials, Products and Structures", Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, Russia)

Dmitry V. KHRISTICH – Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Prof. of the Department of Computational Mechanics and Mathematics, State University (Tula, Russia)

Alexander A. SHESTAKOV – Dr. of Philosophy, Prof., Head of the Department of Philosophy and Social Sciences and Humanities, Samara State Technical University (Samara, Russia)

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ В РАСТВОРАХ КИСЛОТ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ С МИКРОКАЛЬЦИТОМ В ИХ СОСТАВЕ БАРКОВСКАЯ Светлана Владимировна, ПРОХОРОВА Алла Валерьевна.....	10
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СУБСТРАТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ИСКАНДАРОВ Марат Хайруллович, ПЧЕЛЬНИКОВ Александр Владимирович, ПИЧУГИН Анатолий Петрович, ТУЛЯГАНОВ Александр Константинович.....	14
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ СЕЛЯЕВ Владимир Павлович, АНПИЛОВ Сергей Михайлович, ЛАЗАРЕВ Александр Львович, АРХИПОВ Игорь Владимирович	21
ХИМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ НАПОЛНЕННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЕЙСТВИЮ РАСТВОРОВ ВИННОЙ КИСЛОТЫ СЕЛЯЕВ Владимир Павлович, АНПИЛОВ Сергей Михайлович, КУПРИЯШКИНА Людмила Ивановна.....	28
РОЛЬ ДИФфуЗИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛИМЕРНОГО КЛЯЩЕГО СЛОЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА РАСТИТЕЛЬНОМ ЗАПОЛНИТЕЛЕ СМИРНОВА Ольга Евгеньевна, ПИЧУГИН Анатолий Петрович	34
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОМБИНАЦИЯХ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК СОКОЛОВ Сергей Александрович, БЕЛОВ Владимир Владимирович, КУЛЯЕВ Павел Викторович, БАРКАЯ Темур Рауфович.....	40
ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ СТОЛБОУШКИН Андрей Юрьевич, МАТВЕЕВ Алексей Анатольевич, ФОМИНА Оксана Андреевна.....	47
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ-УНОСА НОВОМОСКОВСКОЙ ГРЭС НА СВОЙСТВА БЕТОНА ЧЕРКАСОВ Василий Дмитриевич, БАСАЛАЕВ Александр Анатольевич, ГОРЮНОВ Владислав Евгеньевич	53
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВРЕМЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ПРЕПЯТСТВИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИЙ В ТРЕХМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ ШМЕЛЕВ Геннадий Николаевич, ШИШКАНОВ Данил Геннадьевич, ГАЛИЕВ Айнура Асхатович.....	56

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

ПРОЧНОСТЬ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ИЗГИБАЕМЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СО СПИРАЛЬНЫМ АРМИРОВАНИЕМ БЕТОНА СЖАТОЙ ЗОНЫ КРИШАН Анатолий Леонидович, КОЛЕСНИКОВ Владислав Дмитриевич, РИМШИН Владимир Иванович, АСТАФЬЕВА Мария Анатольевна	61
СОПРОТИВЛЕНИЕ СЖАТЫХ БЕТОННЫХ ПОЛОС В БАЛКАХ, ИМЕЮЩИХ МАЛЫЙ ПРОЛЕТ СРЕЗА ЛАСЬКОВ Сергей Николаевич, ЛАСЬКОВ Николай Николаевич, ЛАВРОВА Ольга Владимировна.....	68

О РАЗВИТИИ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИНАХ С УЧЕТОМ ДИЛАТАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТРЕЩЕВ Александр Анатольевич	72
---	----

ЭКСПЕРТНОЕ МНЕНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ КОЖИ РУК В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОТ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ, ЦЕМЕНТА, БИТУМА, МАЗУТА, РАСТВОРИТЕЛЕЙ СВЕТЛОВ Даниил Дмитриевич, НАЗАРОВА Виктория Владимировна, СВЕТЛОВ Дмитрий Анатольевич, ХАРЛАНОВА Анастасия Андреевна	82
--	----

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ

ОТЧЁТ О ПРОВЕДЕНИИ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ИННОВАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ» ПИЧУГИН Анатолий Петрович, ХРИТАНКОВ Владимир Федорович	88
Условия размещения материалов	94

CONTENT

TECHNICAL SCIENCES. BUILDING AND ARCHITECTURE

EVALUATION OF THE STABILITY OF HEAVY CONCRETES WITH MICROCALCITE IN THEIR COMPOSITION IN ACID SOLUTIONS BARCOVSKAY Svetlana Vladimirovna, PROKHOROVA Alla Valeryevna	10
APPLICATION OF NANOMATERIALS IN THE TECHNOLOGY OF PREPARATION OF METAL SUBSTRATES TO IMPROVE THE QUALITY OF PAINT COATINGS ISKANDAROV Marat Khairullovich, PCHELNIKOV Alexander Vladimirovich, PICHUGIN Anatoly Petrovich, TULIAGANOV Alexander Konstantinovich.....	14
ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING THE STRESS INTENSITY FACTOR FOR WOOD PRODUCTS SELYAEV Vladimir Pavlovich, ANPILOV Sergey Mikhailovich, LAZAREV Alexander Lvovich, ARKHIPOV Igor Vladimirovich	21
CHEMICAL RESISTANCE OF THE FILLED CEMENT COMPOSITES TO THE ACTION OF TARTARIC ACID SOLUTIONS SELYAEV Vladimir Pavlovich, ANPILOV Sergey Mikhailovich, KUPRIYASHKINA Lyudmila Ivanovna	28
THE ROLE OF DIFFUSION INDICATORS OF THE POLYMER GLUE LAYER IN THE MANUFACTURE OF BUILDING COMPOSITES ON A VEGETABLE FILLER SMIRNOVA Olga Evgenievna, PICHUGIN Anatoly Petrovich.....	34
EXPERIMENTAL STUDY OF THE STABILITY OF CIRCULAR CYLINDRICAL SHELLS UNDER VARIOUS COMBINATIONS OF EXTERNAL LOADS SOKOLOV Sergey Aleksandrovich, BELOV Vladimir Vladimirovich, KULIAEV Pavel Viktorovich, BARKAYA Temur Raufovich	40
INFLUENCE OF ALKALI METAL SALTS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CERAMIC SAMPLES STOLBOUSHKIN Andrey Yurievich, MATVEEV Alexey Anatolievich, FOMINA Oksana Andreevna	47
PROPERTIES RESEARCH OF THE INFLUENCE OF MINERAL ADDITIVES BASED ON FLY ASH FROM NOVOMOSKOVSKAYA GRES CHERKASOV Vasily Dmitrievich, BASALAEV Alexander Anatolyevich, GORYUNOV Vladislav Evgenievich	53
STUDY ON THE WIND IMPACT ON TEMPORARY STRUCTURES CONSIDERING THE BARRIERS THAT ARISE WHEN CHANGING DIFFERENT PARAMETERS OF STRUCTURES IN A THREE-DIMENSIONAL SETTING SHMELEV Gennady Nikolaevich, SHISHKANOV Danil Gennadievich, GALIEV Aynur Askhatovich	56

MECHANICS OF A DEFORMABLE SOLID BODY

STRENGTH OF NORMAL CROSS-SECTIONS OF BENDING TUBULAR CONCRETE ELEMENTS WITH SPIRAL REINFORCED CONCRETE COMPRESSION ZONE KRISHAN Anatoly Leonidovich, KOLESNIKOV Vladislav Dmitrievich, RIMSHIN Vladimir Ivanovich, ASTAFIEVA Maria Anatolyevna	61
RESISTANCE OF COMPRESSED CONCRETE STRIPS IN BEAMS WITH A SMALL CUT-THROUGH LASKOV Sergey Nikolaevich, LASKOV Nikolay Nikolaevich, LAVROVA Olga Vladimirovna.....	68

ON THE DEVELOPMENT OF PLASTIC DEFORMATIONS IN RECTANGULAR PLATES CONSIDERING THE DILATION OF COMPOSITE MATERIALS TRESHCHEV Alexander Anatolyevich	72
---	----

EXPERT OPINION

RESEARCH ON HAND SKIN PROTECTION AGENT FROM NEGATIVE EFFECTS OF MICROORGANISMS, CEMENT, BITUMEN, FUEL OIL, AND SOLVENTS IN CONSTRUCTION SVETLOV Daniil Dmitrievich, NAZAROVA Victoria Vladimirovna, SVETLOV Dmitry Anatolyevich, KHARLANOVA Anastasia Andreevna	82
--	----

CONFERENCE MATERIALS

REPORT ON CARRYING OUT THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE “INNOVATION AND DIGITIZATION IN CONSTRUCTION MATERIALS SCIENCE” PICHUGIN Anatoly Petrovich, KHRITANKOV, Vladimir Fedorovich.....	88
<i>Conditions for posting materials</i>	94

Научная статья

УДК 691.32

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

БАК: 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения; 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2025_3_10

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ В РАСТВОРАХ КИСЛОТ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ С МИКРОКАЛЬЦИТОМ В ИХ СОСТАВЕ

© Авторы, 2025

SPIN: 1537-7091

БАРКОВСКАЯ Светлана Владимировна

кандидат технических наук, доцент кафедры Строительство, строительные материалы и конструкции

Тульский государственный университет

(Россия, Тула, e-mail: ksv.0804@yandex.ru)

SPIN: 7522-2356

ПРОХОРОВА Алла Валерьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры Строительство, строительные материалы и конструкции

Тульский государственный университет

(Россия, Тула, e-mail: alla_prohorova@mail.ru)

Аннотация. В статье представлены результаты исследований влияния растворов азотной кислоты различной концентрации на прочность тяжелого бетона с введением микрокальцита в его состав. Результаты по сохранению прочностных показателей и потере массы образцами после выдерживания в агрессивных средах приведены для составов бетона с различным содержанием микрокальцита.

Ключевые слова: тяжелый бетон; микрокальцит; микрокарбонат; наполнитель; потеря массы; агрессивная среда; азотная кислота

Для цитирования: Барковская С.В., Прохорова А.В. Оценка устойчивости в растворах кислот тяжелых бетонов с микрокальцитом в их составе // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 10-13. doi:10.51608/26867818_2025_3_10.

Original article

EVALUATION OF THE STABILITY OF HEAVY CONCRETES WITH MICROCALCITE IN THEIR COMPOSITION IN ACID SOLUTIONS

© The Author(s) 2025

BARCOVSKAY Svetlana Vladimirovna

Candidate of Sciences (Technical), Associate Professor of the Department of Construction, Building Materials and Structures

Tula state Universit (Russia, Tula)

PROKHOROVA Alla Valeryevna

Candidate of Sciences (Technical), Associate Professor of the Department of Construction, Building Materials and Structures

Tula state Universit (Russia, Tula)

Abstract. The article presents the results of studies of the effect of nitric acid solutions of various concentrations on the strength of heavy concrete with the introduction of microcalcite into its composition. The results on the preservation of strength indicators and mass loss of samples after exposure to aggressive environments are presented for concrete compositions with different microcalcite content.

Keywords: concrete; microcalcite; microcarbonate; filler; weight loss; aggressive environment; nitric acid

For citation: Barcovskay S.V., Prokhorova A.V. Evaluation of the stability of heavy concretes with microcalcite in their composition in acid solutions // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 10-13. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_10.



Введение. Долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций обуславливается устойчивостью бетона, арматуры и конструкции в целом к воздействию внешних факторов, а не только механической прочностью. В зависимости от условий эксплуатации бетонных изделий и конструкций возможно присутствие химически активных компонентов внешней среды. При влиянии агрессивных факторов такому деструктивному процессу, как коррозия, подвержены не только в арматурные изделия, но и само тело бетона. Воздействие агрессивных сред значительно снижает срок службы бетонных конструкций.

В зависимости от причин, вызвавших коррозию, различают физическую, химическую и биологические коррозии. Физическая коррозия проявляется от миграции влаги, которая содержит растворимые соли, в теле бетона при попеременном увлажнении и высушивании, замораживании и оттаивании. Химическая коррозия возникает при воздействии водной, газовой или твердой среды, активной по отношению к бетону, контакт бетона с этими средами приводит к разрушению цементного камня и коррозии арматуры. Биологическая коррозия бетона проявляется при воздействии продуктов жизнедеятельности микроорганизмов.

В соответствии с классификацией видов коррозии, предложенной Москвиным В.М., различают три вида коррозии [1-2]. К I виду относят процессы, которые протекают в теле бетона при воздействии мягких вод, при данном виде некоторые составляющие цементного камня растворяются и выносятся из бетона фильтрацией. Процессы II вида коррозии бетона связаны с воздействием вод, содержащих химические вещества взаимодействующие с цементным камнем бетона. Взаимодействие дает легкорастворимые соединения, которые уносятся водой, или аморфные фазы, не обладающие вяжущими свойствами, которые остаются на месте. К этому виду относят воздействие кислот и магниезальных солей. Коррозия III вида происходит из-за процессов, вызванных обменными реакциями, составляющих цементного камня и дающих продукты, которые кристаллизуются в порах и капиллярах бетона. Накапливаясь они вызывают в стенках пор и капилляров бетона напряжения, приводят к разрушению. К этому виду коррозии относят действие сульфатов и солей магния [3].

По составу и структуре продуктов коррозии растворы азотной кислоты, воздействие которых рассматривается в данной статье, является химической коррозией и относится ко II виду.

Для увеличения стойкости бетона к воздействию агрессивных сред помимо пропитки бетона, применения защитных покрытий целесообразно введение различного вида добавок повышающих

плотность бетона, снижению его проницаемости [4-5]. В соответствии с [6] бетоны марки по водонепроницаемости, характеризующиеся особо низкой проницаемостью бетона W10 – W14 (при водоцементном отношении не более $B/C=0,35$ и водопоглощением по массе 3,0 – 3,7%) и W16 – W20 (при водоцементном отношении не более $B/C=0,3$ и водопоглощением по массе менее 3,0%).

Использование эффективных вяжущих, работающих не только на повышение прочностных показателей, но и на стойкость бетона на их основе к воздействию агрессивных сред перспективно. Данные вяжущие могут быть получены, как на основе введения тонкомолотых добавок, так и за счет применения комплексных добавок [7-8]. Тонкомолотые добавки позволяют управлять формированием структуры материала и свойствами цементного камня, влияют на химическую активность цементных систем, активируя гидратацию цемента. Тонкомолотые минеральные модификаторы улучшают структуру цементной матрицы, увеличивая плотность, что снижает пористость получаемого бетона и способствует повышению химической стойкости и долговечности материала [9]. Наиболее известными являются микрокремнезем, микрокальцит (микрокарбонат), доменные гранулированные шлаки [4]. Микрокальцит в составе вяжущего для тяжелого бетона является эффективным компонентом [10], проявляющий хорошую водоредуцирующую способность суперпластификаторов и дающий упрочняющий эффект.

Методология. В работе рассматривается устойчивость тяжелого бетона с микрокальцитом в его составе к воздействию растворов азотной кислоты различной концентрации после выдерживания в агрессивных средах в течение месяца (таблица 2).

При проведении исследований применялись сырьевые материалы, отвечающие требованиям [6] по обеспечению коррозионной стойкости бетонов. Цемент типа ЦЕМ I класса по прочности 32,5 нормальнотвердеющий (активность 34,0 МПа), кварцевый песок класса I (модуль крупности 2,2), микрокальцит тонкостью помола до остатка на сите №008 – 3,9%), крупный заполнитель – известняковый щебень смеси фракций 5 – 20мм, марки по дробимости 800. Для регулирования расхода воды и обеспечения более низкого водоцементного отношения использовалась добавка Basf Master Polyheed 4004 – суперпластифицирующая добавка на основе полиакриловых эфиров в количестве 0,6% от массы цемента [11].

При проведении исследований влияния растворов азотной кислоты на тяжелый бетон, содержащий в качестве микронаполнителя микрокальцит, рассматривались три концентрации раствора кислоты: 5%, 15% и 30%. Рабочие агрессивные растворы приготавливались на дистиллированной воде. Исследования проводились на образцах бетона после



28 суток н.у. твердения. Затем образцы бетона выдерживались в агрессивной среде 30 суток. После выдержки в агрессивной среде первоначально для образцов определялась потеря массы. Затем производились механические испытания образцов. При оценке стойкости бетонов в агрессивных средах образцы с уменьшением массы более чем на 1% не должны подвергаться механическим испытаниям, а составы сразу относят к нестойким в данной среде. Однако для отслеживания изменений прочности при сжатии в данном исследовании образцы с потерей массы более 1% испытывались на сжатие.

Составы бетонных смесей имели одинаковую подвижность бетонной смеси (марка по осадке конуса П1 1 – 4см). Для испытаний свойств бетона с добавкой микрокальцита до агрессивных сред и на устойчивость к растворам кислоты изготавливались образцы-кубы с ребром 10см.

Определение водонепроницаемости бетонных образцов проводилось ускоренным методом устройством типа «АГАМА». Ускоренный метод определения водонепроницаемости бетона основан на зависимости между воздухопроницаемостью (скоростью фильтрации воздуха) и водонепроницаемостью в поверхностных слоях бетона. Скорость фильтрации воздуха происходит на поверхности образцов внутри камеры с вакуумом устройства. О марке по водонепроницаемости судят по времени падения разряжения в полости камеры от 0,7 до 0,66 кг/м² (таблица 1).

Результаты. Для оценки устойчивости тяжелого бетона с введением в его состав наполнителя – микрокальцита – на первоначальном этапе определялись зависимость физико-механических свойств бетона от содержания микрокальцита (таблица 1). Помимо плотности, и прочности на сжатие изготовленных образцов оценивалась водонепроницаемость полученного бетона, т.к. интенсивность коррозионных процессов зависит от плотности – проницаемости материала.

Таблица 1 – Влияние микрокальцита на свойства тяжелого бетона

Показатель	Количество микрокальцита, % от массы цемента				
	0	5	10	15	20
Средняя плотность, кг/м ³	2307	2317	2346	2340	2320
Предел прочности при сжатии, МПа	30,2	34,6	38,9	38,5	33,0
Прирост прочности при сжатии, %	0	+14,6	+28,8	+27,5	+9,3
Время падения разряжения от 0,7 до 0,66 кг/м ² , с	60	160	176	172	110
Марка по водонепроницаемости	W6	W10	W12	W12	W8

Увеличение дозировки микрокальцита более 15% от массы цемента в составах бетона не дало

дальнейшего увеличения прочностных показателей и марки по водонепроницаемости, а также состав с 20% добавкой микрокальцита показывает снижение показателя средней плотности, что может быть связано с уменьшением запаса клинкерного фонда в бетоне [7, 12, 13].

Таблица 2 – Результаты испытаний тяжелых бетонов с микрокальцитом в составе после выдерживания в растворах азотной кислоты в течение 30 суток

Показатель	Количество микрокальцита, % от массы цемента				
	0	5	10	15	20
5%-ный раствор HNO ₃					
Потеря массы образцов после выдерживания в среде в течение 30 суток, %	11,0	4,5	0,8	0,81	1,0
Предел прочности при сжатии после выдерживания в среде, МПа	27,2	31,7	37,1	37,3	30,8
Потеря прочности, %	10,0	8,4	4,5	3,2	6,8
15%-ный раствор HNO ₃					
Потеря массы образцов после выдерживания в среде в течение 30 суток, %	10,00	4,00	0,52	0,60	0,92
Предел прочности при сжатии после выдерживания в среде, МПа	26,5	31,8	37,5	37,2	30,7
Потеря прочности, %	12,2	8,1	3,6	3,5	7,1
30%-ный раствор HNO ₃					
Потеря массы образцов после выдерживания в среде в течение 30 суток, %	8,10	2,40	0,32	0,45	0,80
Предел прочности при сжатии после выдерживания в среде, МПа	28,0	32,7	38,3	37,8	32,0
Потеря прочности, %	7,2	5,4	1,6	1,9	3,1

По визуальному осмотру наибольшие повреждения поверхностных слоев и изменения цвета бетона от воздействия раствора азотной кислоты у образцов без введения микрокальцита и с содержанием 5% от массы цемента наблюдается в 5% и 15% растворах HNO₃, повреждение слоев бетона составило до 2см по высоте образца. В 30% растворе кислоты данные составы также имеют повреждение поверхностных слоев, но толщина повреждений не превышает 0,5 – 0,7см по высоте образца.

Обсуждение. Сохранение прочностных показателей при повышенных концентрациях раствора кислоты объясняется тем, что из-за повышенной концентрации раствора, которая приводит к быстрой реакции на поверхности материала и образованию продуктов коррозии, что служит своего рода «защитным панцирем» от дальнейшего проникновения агрессивной среды к внутренним слоям бетона, вследствие чего скорость коррозии значительно снижается. На начальной стадии скорость деструктивных процессов от агрессивной среды прямо зависит



от скорости химической реакции. Затем скорость коррозионных процессов замедляется из-за необходимости преодоления агрессивным компонентам через образовавшийся «панцирь» к слоям неповрежденного бетона, т.е. процесс коррозии переходит из кинетического в диффузионный [1, 6].

Выводы. Карбонатные наполнители за счет пороодообразующего минерала кальцита дают повышение прочности цементных систем [14]. Введение микрокальцита дает уплотнение структуры тела бетона, что способствует повышению стойкости данного материала в агрессивных средах. Однако повышение расхода микрокальцита (микрокарбоната) свыше 15% от массы цемента нецелесообразно, т.к. образцы даже до испытания в агрессивных средах показывают небольшой прирост прочности на сжатие (прирост 9,4% по сравнению с составом без микрокальцита), а водонепроницаемость материала повышается только на одну марку.

Библиографический список

1. Баженов Ю.М. Технология бетонов: учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая школа. 1978. 455 с.
2. Куликова Е.С. К вопросу о коррозии бетона / Е. С. Куликова, Н. В. Власенко, П. С. Мешкова, О. С. Кузьмин // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения : Сборник научных трудов. — Хабаровск : Тихоокеанский государственный университет, 2025. — С. 86 — 90.
3. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гусев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. - М.: Стройиздат, 536 с.
4. Енджиевская И.Г. Оценка взаимодействия добавок в бетоне / И. Г. Енджиевская, А. В. Демина, А. С. Енджиевский, С. Д. Дубровская // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2022. — Т. 24, № 3. — С. 128 — 137.
5. Екимов Р. В. Защита бетона от коррозии - основа долговечности зданий и сооружений / Р. В. Екимов // Международный студенческий строительный форум - 2018 (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова) : Сборник докладов. В 2-х томах, Белгород, 26 ноября 2018 года. Том 1. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. — С. 60 — 64.
6. СП 28.13330.2017 Защита строительных конструкций от коррозии [Текст]. — Взамен СНиП 2.03.11 — 85; введен 2017 — 08 — 28 — Москва: Минстрой России, 2017. — 110 с.
7. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С. Новые модифицированные бетоны. - М.: ООО «Типография «Парадиз», 2010, 258 с.
8. Низина Т. А. Оценка кинетики твердения цементного камня, модифицированного добавками термоактивированной глины и карбонатных пород / Т. А. Низина, В. В. Володин, А. С. Балыков, Д. И. Коровкин // Региональная архитектура и строительство. — 2021. — № 1(46). — С. 86 — 94.
9. Жарков Д. И. Основные свойства минеральных модификаторов, их взаимодействие с цементом и влияние на химическую активность системы / Д. И. Жарков // Инициативы молодых - науке и производству : Сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Пенза, 30 июня 2023 года / Под научной редакцией О.Н. Кухарева, А.В. Носова. — Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. — С. 205 — 208.
10. Хозин В. Г. Карбонатные цементы низкой водопотребности — перспективные вяжущие для бетонов / В. Г. Хозин, О. В. Хохряков, Р. К. Низамов // Бетон и железобетон. — 2020. — № 1(601). — С. 15 — 28.
11. Барковская, С. В. Микрокальцит в составе мелкозернистых бетонов на цементах с нормированным показателем активности и низкоактивном цементе / С. В. Барковская // Эксперт: теория и практика. — 2024. — № 3(26). — С. 27-33. — DOI 10.51608/26867818_2024_3_27. — EDN LXINHB.
12. Степнов В.Ф. Влияние добавок микрокремнезема на коррозионную стойкость арматурной стали в бетоне / В.Ф. Степанов, С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, И.П. Барыкин // Бетон и железобетон. №5, 1993. — С.28 — 30.
13. Куляев, П. В. Тонкомолотый известняк в производстве эффективных бетонов / П. В. Куляев, Р. В. Соколов // Научные технологии и инновации : Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 29 апреля 2019 года. Том Часть 4. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. — С. 259 — 262.
14. Низина Т.А. Влияние комплексных модификаторов на основе поликарбоксилатного суперпластификатора и минеральных добавок различного состава на технологические и физико-механические свойства цементных систем / Т. А. Низина, А. С. Балыков, Д. И. Коровкин [и др.] // Региональная архитектура и строительство. — 2022. — № 1(50). — С. 28 — 36.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 02.07.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 02.07.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.



Научная статья

УДК 691.17

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

БАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2025_3_14

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СУБСТРАТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

© Авторы, 2025

ИСКАНДАРОВ Марат Хайруллович

аспирант

*Новосибирский государственный аграрный университет
(Россия, Новосибирск)*

SPIN: 1658-0511

ПЧЕЛЬНИКОВ Александр Владимирович

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой Надежности и ремонта

*Новосибирский государственный аграрный университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: pchelaleksandr@mail.ru)*

SPIN: 6626-3274

ПИЧУГИН Анатолий Петрович

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник *Новосибирский государственный аграрный университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: gmunsau@mail.ru)*

SPIN: 1881-7978

ТУЛЯГАНОВ Александр Константинович

кандидат технических наук, доцент

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: pchelaleksandr@mail.ru)*

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы повышения эксплуатационной стойкости лакокрасочных покрытий различных металлических поверхностей. В результате подробного теоретического анализа установлено, что решить данный вопрос возможно за счёт совершенствования технологии подготовки металлических поверхностей к окрашиванию с применением наноматериалов: при подготовке металлических поверхностей перед окрашиванием химическим способом, и применении функциональных наноматериалов, способствующих изменению физико-химических свойств металла, возможно протекание химических процессов, способствующих повышению взаимодействия между металлом и защитным покрытием.

Одно из наибольших вниманий при разработке данного решения уделялось такому наноматериалу как углеродные нанотрубки. Применение в технологии подготовки к окрашиванию суспензии на основе смешанных растворителей и углеродных нанотрубок позволяет получать покрытия, по сравнению с традиционными, обладающие до трёх раз большей адгезионной прочностью, в полтора и более раз лучшими показателями прочности к истиранию и устойчивостью к деформационным воздействиям, до двух раз более антистатичными, а также обладающие большей термостойкостью и термостабильностью. Улучшение свойств покрытий происходит за счёт формирования равномерного плотного промежуточного слоя между металлом и покрытием, обеспечивающего повышение адгезии и других качественных характеристик покрытия, вследствие протекания процесса хемосорбции с поверхностью металла за счёт избыточного количества электронов поверхности углеродных нанотрубок, о чем характеризуют результаты исследования электронной микроскопии.

Ключевые слова: лакокрасочные покрытия; наноматериалы; адгезионная прочность; углеродные нанотрубки; подготовка к окрашиванию

Для цитирования: Применение наноматериалов в технологии подготовки металлических субстратов для повышения качества лакокрасочных покрытий / М.Х. Искандаров, А.В. Пчельников, А.П. Пичугин, А.К. Туляганов // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 14-20. doi:10.51608/26867818_2025_3_14.



Original article

APPLICATION OF NANOMATERIALS IN THE TECHNOLOGY OF PREPARATION OF METAL SUBSTRATES TO IMPROVE THE QUALITY OF PAINT COATINGS

© The Author(s) 2025

ISKANDAROV Marat Khairulloevich

PhD Candidate

Novosibirsk State Agrarian University (Russia, Novosibirsk)

PCHELNIKOV Alexander Vladimirovich

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department

Novosibirsk State Agrarian University (Russia, Novosibirsk)

PICHUGIN Anatoly Petrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher

Novosibirsk State Agrarian University (Russia, Novosibirsk)

TULIAGANOV Alexander Konstantinovich

Candidate of Sciences (Technical), Associate Professor

Novosibirsk State of Architecture and Civil University (Russia, Novosibirsk)

Abstract. The article considers the issues of increasing the operational durability of paint and varnish coatings of various metal surfaces. As a result of a detailed theoretical analysis, it was found that this issue can be resolved by improving the technology of preparing metal surfaces for painting using nanomaterials: when preparing metal surfaces before painting using a chemical method and using functional nanomaterials that help change the physicochemical properties of the metal, chemical processes can occur that help increase the interaction between the metal and the protective coating. One of the greatest attentions in the development of this solution was paid to such a nanomaterial as carbon nanotubes. The use of a suspension based on mixed solvents and carbon nanotubes in the technology of preparing for painting allows obtaining coatings that, compared to traditional ones, have up to three times greater adhesive strength, one and a half or more times better abrasion resistance and resistance to deformation effects, up to two times more antistatic, and also have greater heat resistance and thermal stability. The improvement of the coating properties occurs due to the formation of a uniform dense intermediate layer between the metal and the coating, which ensures increased adhesion and other quality characteristics of the coating, due to the process of chemisorption with the metal surface due to the excess amount of electrons on the surface of carbon nanotubes, as characterized by the results of electron microscopy studies.

Keywords: paint and varnish coatings; nanomaterials; adhesive strength; carbon nanotubes; preparation for painting

For citation: Application of nanomaterials in the technology of preparation of metal substrates to improve the quality of paint coatings / M.Kh. Iskandarov, A.V. Pchelnikov, A.P. Pichugin, A.K.Tuliaganov // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 14-20. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_14.

Введение. Ежегодные потери от коррозии в Российской Федерации составляют около 400 млрд руб., или 2% ВВП. Из-за коррозионного разрушения металла, потери его ежегодно составляют до 12% от общего металлофонда Российской Федерации (1,6 млрд т).

Текущее состояние металлических элементов зданий различных промышленных предприятий свидетельствует о недостаточном учете факторов, воздействующих на поверхности стальных металлоконструкций и их защитных покрытий, что сокращает срок службы металлов в 2–3 и более раз. Одной из главных причин снижения срока службы строительных металлоконструкций является низкая адгезия защитных покрытий к металлу и слабое когезионное взаимодействие в покрытиях, что не позволяет фор-

мировать требуемый уровень показателей эксплуатационных характеристик для надежной защиты металлоконструкций [1-2].

Для повышения качества защиты металлов от различных эксплуатационных воздействий, особое внимание, в процессе создания покрытий, необходимо уделять технологическим операциям, связанным с подготовкой поверхностей перед окрашиванием. Качество подготовки металлических поверхностей целесообразно напрямую связывать со степенью адгезии нанесенных на них защитных покрытий, при этом важно учитывать как величину адгезии, так и равномерность данного параметра по всей защищаемой поверхности [2-4].

Таким образом, подготовка поверхности перед окрашиванием может включать в себя до 6-7



различных операций. Количество и состав операций определяется рядом факторов, включая тип металла, условия эксплуатации, требования к адгезии. Механическая обработка, например, абразивоструйная очистка, эффективна для удаления ржавчины и окалины, обеспечивая шероховатость для лучшей адгезии (ASTM D4417). Например, химическая обработка, включающая фосфатирование или хромирование, создает конверсионный слой, повышающий коррозионную стойкость и адгезию (ISO 9227:2017). Выбор конкретного метода должен основываться на анализе затрат, эффективности и экологических соображений, учитывая нормативные требования (например, VOC-директивы). Комбинирование методов может обеспечить оптимальную подготовку поверхности для конкретных условий эксплуатации (ГОСТ 9.402-2004).

На сегодняшний день разработка перспективных защитных материалов и методов создания покрытий напрямую связана с использованием различных наноматериалов [5-13]. Так, при подготовке металлических поверхностей перед окрашиванием химическим способом, и применении функциональных наноматериалов, способствующих изменению физико-химических свойств металла, возможно протекание химических процессов, способствующих повышению взаимодействия между металлом и защитным покрытием [1, 4, 14].

Исходя из этого, целью исследования данной работы являлось: повышение эксплуатационной стойкости лакокрасочных покрытий металлических поверхностей путём их поверхностной обработки наноматериалами при подготовке к окрашиванию.

Материалы и методы. Для исследований определены лакокрасочные материалы на основе акриловых сополимеров, а также различные наноматериалы: оксиды висмута, церия, цинка, гидроксиды алюминия, магния, диоксид кремния, углеродные нанотрубки (УНТ).

Технология создания лакокрасочного покрытия заключалась в следующем: в процессе подготовки к окрашиванию, металлическую поверхность подвергают механической обработке и обезжириванию, после чего, методом пневматического распыления, на неё наносят композицию, представляющую собой раствор на основе смешанных растворителей, содержащий адаптированный концентрат наноматериалов, в количестве 0,01-2%. После высыхания на данную поверхность методом пневматического распыления наносят органоразбавляемый лакокрасочный материал.

Для оценки свойств лакокрасочных покрытий выбраны следующие стандартные методы: Определение адгезии методом отрыва (ISO 4624:2002, MOD), Твёрдость по Шору (ISO 868:2003), прочность

покрытия при изгибе (ISO 1519:2011), прочность покрытия к истиранию (ГОСТ 20811-2025).

Электронно-микроскопическое исследование образцов проводилось с использованием сканирующего электронного микроскопа TescanMira 3 XMU, в высоком вакууме, при ускоряющем напряжении электронного пучка 5кВ и интенсивности 8,5 (размер пучка 7,4 нм).

Термомеханические исследования проводились по методу измерения деформации одноосного сжатия под влиянием непрерывно действующей нагрузки в условиях нагрева образца с постоянной скоростью в интервале температур от комнатной до 350 °С.

Результаты и их обсуждение. В таблице 1 представлены результаты исследования влияния наноматериалов на эксплуатационные характеристики защитных покрытий металлических поверхностей.

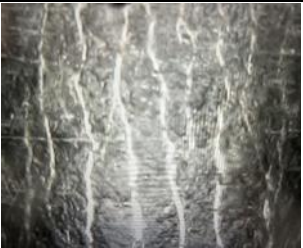
Таблица 1 – Результаты исследования физико-механических характеристик покрытий с предварительной подготовкой металлической поверхностью различными наноматериалами

Концентрация наноматериалов в составе для поверхностной обработки, %	Твёрдость по Шору	Истираемость, г	Адгезионная прочность, МПа	Характер отрыва (адгезионный/когезионный) (А/К), %
Без добавок				
0	56...59	0,031...0,034	1,2...1,4	А-К 100-0
Оксид Висмута				
0,25	63...66	0,034...0,037	2,8...3,0	А-К 90-10
0,5	62...67	0,030...0,033	3,0...3,3	А-К 90-10
1	81...88	0,028...0,032	3,3...3,5	А-К 10-90
2	76...82	0,028...0,033	3,2...3,4	А-К 10-90
Гидроксид магния, гидроксид алюминия				
0,25	61...64	0,035...0,037	2,0...2,2	А-К 100-0
0,5	62...66	0,035...0,039	2,1...2,4	А-К 100-0
1	65...70	0,036...0,040	2,3...2,7	А-К 95-5
2	64...68	0,035...0,038	2,4...2,9	А-К 90-10
Диоксид кремния				
0,25	63...66	0,033...0,036	2,3...2,6	А-К 90-10
0,5	63...69	0,034...0,038	2,5...2,9	А-К 80-20
1	65...71	0,030...0,033	2,8...3,2	А-К 60-40
2	64...72	0,031...0,035	2,7...3,1	А-К 60-40
Оксид церия, оксид цинка				
0,25	62...65	0,036...0,038	2,2...2,5	А-К 90-10
0,5	61...64	0,035...0,038	2,3...2,5	А-К 90-10
1	61...63	0,037...0,040	2,4...2,8	А-К 90-10
2	63...67	0,036...0,039	2,6...2,9	А-К 80-20
Углеродные нанотрубки				
0,01	63...65	0,032...0,036	2,4...2,9	А-К 95-5
0,05	66...68	0,023...0,026	3,7...3,8	А-К 10-90
0,1	70...73	0,025...0,029	2,7...3,0	А-К 50-50
0,2	71...74	0,028...0,032	2,3...2,5	А-К 50-50



Наибольшее положительное влияние на свойства лакокрасочных покрытий оказывают такие наноматериалы как оксид висмута и углеродные нанотрубки.

Таблица 2 – Результаты испытаний деформационной устойчивости лакокрасочных покрытий

Концентрация УНТ, %	Внешний вид покрытия после испытания (размер фотографий 10×10 мм; увеличение x500)	Описание результата (диаметр стержня, при котором проводилось исследование прочности покрытия на изгиб – 3 мм)
0%		Поверхность содержит крупные трещины покрытия, сколы и очаги отслоения покрытия от металлической подложки
0,01%		На поверхности покрытия повреждения в виде поперечных трещин
0,05%		Защитное покрытие видимых разрушений не имеет
0,1%		На поверхности покрытия повреждения в виде поперечных трещин
0,2%		На покрытии крупные трещины, имеются видимые участки отслоения покрытия от металлической подложки

Так, при использовании углеродных нанотрубок, при подготовке металлической поверхности к

окрашиванию, адгезионная прочность возрастает с 1,3 до 3,8 МПа, при изменении характера отрыва в сторону когезионного (A10-K90). Наилучший результат достигается при использовании раствора с 0,05% УНТ.

Ввиду полученных результатов на первом этапе, дальнейшее внимание было сосредоточено на исследованиях покрытий полученных с применением УНТ.

При оценке устойчивости лакокрасочных покрытий к деформационным воздействиям (таблица 2) установлено, что при подготовке металлической поверхности суспензией на основе УНТ 0,05%, количество и величина микротрещин, сводится к минимуму, при этом диаметр стержня, при котором начинает разрушаться покрытие – 3 мм.

Результаты термомеханических исследований (рисунок 1) характеризуют, что при предварительной обработке металлической поверхности композицией с УНТ, повышается температура начала деструкции лакокрасочного покрытия, что говорит о его высокой термостабильности и термостойкости, а также упрочнении покрытия за счёт образования более сетчатой структуры, в виду того, что УНТ в полимере выступают, как в роли структурообразующих центров, так и провоцируют поверхностную ориентацию полярных групп молекул полимера. Наилучшими результатами обладает покрытие при поверхностной обработке металла суспензией, содержащей УНТ, в количестве 0,05% – температура начала деструкции увеличивается на 100–150 °С.

Результаты исследования на растровом электронном микроскопе торцевых поверхностей образцов покрытий, созданных на металлических подложках (рисунок 2), показали, что при обработке подложки суспензией с УНТ, на границе раздела металл-покрытие формируется равномерный плотный промежуточный слой (рисунок 2б), обеспечивающий повышение адгезии лакокрасочного покрытия, вследствие протекания процесса хемосорбции с поверхностью металла за счет избыточного количества электронов поверхности углеродных нанотрубок.

В качестве теоретического обоснования вышеприведенных результатов исследования согласуются ряд положений теории физико-химии полимеров и электрической теории адгезии [4, 14, 15]. На основании этого можно сказать, что при подготовке металлических поверхностей перед окрашиванием химическим способом, и применении наноматериалов, способствующих изменению физико-химических свойств металла, возможно протекание химических процессов, способствующих повышению взаимодействия между металлом и защитным покрытием.

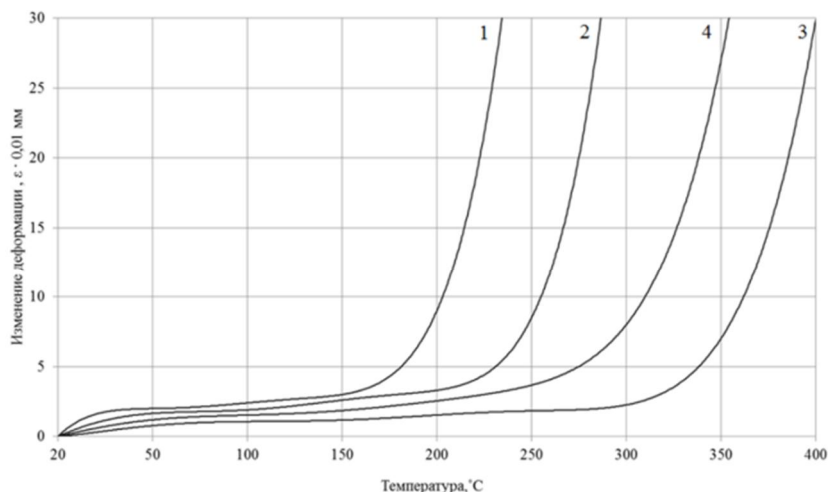


Рисунок 1 – Термомеханические кривые модифицированного покрытия:
1 – без обработки; 2 – УНТ 0,01%; 3 – УНТ 0,05%; 4 – УНТ 0,1%

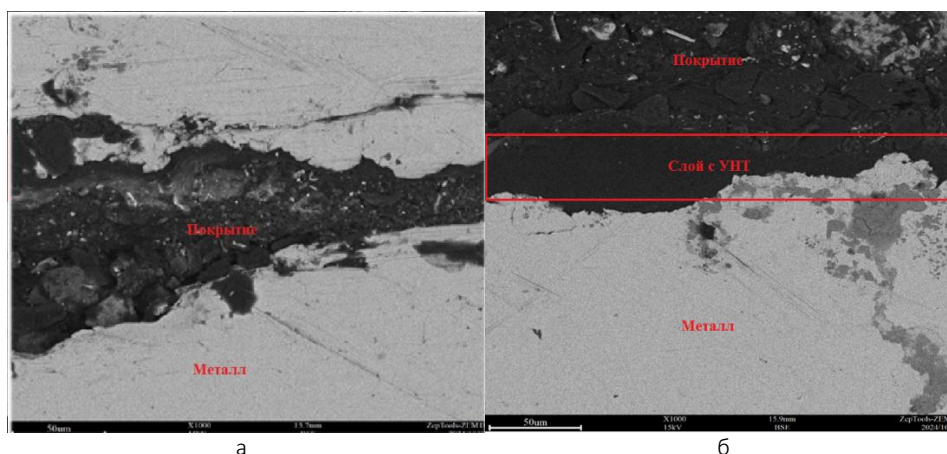


Рисунок 2 – Микрофотографии образцов лакокрасочных покрытий:

а – без предварительной обработки; б – с предварительной обработкой составом с УНТ 0,05%

Одним из таких процессов является донорно-акцепторное взаимодействие. Данный тип взаимодействия основан на обмене электрическими зарядами между донорами и акцепторами – молекулами, которые способны отдавать или принимать электроны, соответственно. Это взаимодействие имеет значительное влияние на адгезию покрытий к металлам и, следовательно, на коррозионную стойкость и долговечность защитных слоев (рисунок 3).

Металлические поверхности, как правило, обладают высокой электроотрицательностью, что делает их привлекательными акцепторами для доноров, которые могут представлять собой функциональные группы на молекулах полимеров или других компонентов защитных покрытий. Такие взаимодействия способствуют формированию прочной связи, что критически важно для обеспечения долговечности покрытия.

Использование наноматериалов становится важным фактором в этом контексте, поскольку они

могут не только улучшать адгезию, но и оказывать сродство к металлическим поверхностям, что обеспечивается их высоким отношением площади поверхности к объему и большой химической активностью. Наноматериалы, благодаря своему размеру и формам, могут внедряться в микрорельеф поверхности, формируя дополнительные донорно-акцепторные связи, которые улучшают сцепление покрытий и устойчивость к коррозии.

Помимо вышесказанного, хемосорбция, определяемая как процесс химической адсорбции молекул на поверхности твердых тел, играет важнейшую роль в формировании прочных защитных покрытий на металлических конструкциях. Этот процесс включает в себя образование сильных ковалентных или ионных связей между адсорбатами (молекулами покрытия) и атомами поверхности материала (металла) (рисунок 3). Он контрастирует с физической адсорбцией, которая характеризуется более слабыми Ван-дер-Ваальсовыми силами и, соответ-

ственно меньшей прочностью связей. Процесс хемосорбции начинается с диффузии молекул покрытия к поверхности металла, где они вступают в реакцию с атомами на границе раздела фаз. В процессе этого взаимодействия могут образовываться новые химические связи, что значительно снижает вероятность разрушения адгезии под воздействием внешних факторов.

щищать металлические конструкции от коррозии и разрушения.

Исходя из вышесказанного и проведенных исследований, повышение адгезии лакокрасочного покрытия при предварительной обработке металлической поверхности суспензией с УНТ происходит как за счёт увеличения донорно-акцепторного взаимодействия между металлом и покрытием, так и вслед-

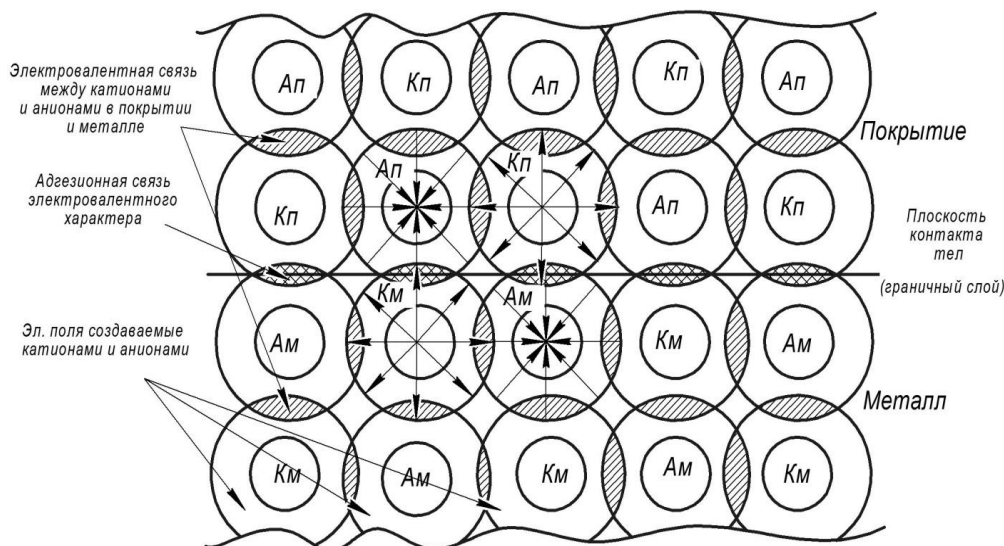


Рисунок 3 – Схема формирования донорно-акцепторного взаимодействия покрытия и металла при поверхностной обработке металлической поверхности наноматериалами

Одним из ключевых аспектов хемосорбции является ее зависимость от природы, как адсорбата, так и адсорбента. Металлы различаются по своей электроотрицательности, что оказывает влияние на характер взаимодействия с молекулами покрытия. Например, более электроотрицательные металлы, такие как цинк или алюминий, способны вступать в более прочные связи с определенными полимерными материалами, чем менее электроотрицательные, такие как железо. Важно также учитывать, что наличие различных функциональных групп на молекулах покрытия может привести к изменению характера и силы хемосорбции. Благодаря высокому отношению поверхности к объему, наноматериалы обладают большими активными зонами для взаимодействия с молекулами покрытия, что способствует образованию более прочных адгезионных связей на уровне атомов. Это становится особенно актуальным, когда речь идет о композитных покрытиях, содержащих сочетание традиционных полимерных и наноструктурированных компонентов. Наночастицы могут улучшить распределение адсорбатов по поверхности металла и, как следствие, повысить механические свойства получаемого покрытия, что открывает путь к созданию более надежных и долговечных защитных слоев, способных эффективно за-

щивать протекания процесса хемосорбции с поверхностью металла за счет избыточного количества электронов поверхности углеродных нанотрубок.

Заключение. Оптимизация процессов подготовки к окрашиванию за счёт использования при этом современных наноматериалов способствуют как повышению сроков эксплуатации металлических поверхностей различных строительных металлоконструкций, и как следствие снижению затрат на их содержание и обслуживание. Применение технологий подготовки металлических поверхностей с наноматериалами, обеспечивает комплексное улучшение свойств получаемых покрытий. Это особенно важно для объектов, расположенных в агрессивных атмосферных условиях, таких как морское побережье или промышленные зоны с повышенной химической активностью.

Таким образом, внедрение новых технологий подготовки металлических конструкций является стратегически верным решением, как с экономической, так и с экологической точки зрения. Это подтверждается успешными примерами реализации новых технологий в различных проектах, где за счет оптимизации методов подготовки значительно улучшилась не только финансовая эффективность, но и общая экология строящихся объектов, что соответ-



ствуует современным требованиям устойчивого развития.

Библиографический список

1. Диедькометрический анализ эксплуатационных характеристик и процесса старения защитных покрытий / А. В. Пчельников, А. П. Пичугин, Р. В. Луцки, С. Е. Ткаченко // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 1(16). – С. 14-22. – DOI 10.51608/26867818_2022_1_14. – EDN WIQQMF.
2. Защитные свойства композиций с наноразмерными и специальными добавками от радиационного воздействия / А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, А. В. Пчельников, Д. В. Ромашев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2021. – № 12(756). – С. 24-33. – DOI 10.32683/0536-1052-2021-756-12-24-33. – EDN TMVLKO.
3. Пчельников, А.В. Состояние и пути совершенствования нормативно-технической базы России по защите строительных металлических конструкций лакокрасочными материалами / А. В. Пчельников, А. П. Пичугин, В.В. Строкова // Строительные материалы. – 2025. – № 5. – С. 43-51.
4. Зимон, А. Д. Адгезия пленок и покрытий / А.Д. Зимон. – М.: Химия, 1977. – 52 с.
5. К вопросу модифицирования полимерных композиций / Л. Ю. Матвеева, М. И. Кожухова, В. М. Малиновкер, М. Ю. Дмитриев // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2014. – № 7(186). – С. 14-15. – EDN TAPWOT.
6. Канаева, Н. С. Релаксационные свойства полимерных материалов на основе эпоксидных связующих / Н. С. Канаева, Д. Р. Низин, Т. А. Низина // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 3(18). – С. 42-46. – DOI 10.51608/26867818_2022_3_42. – EDN ERYPRN.
7. Логанина, В. И. оценка напряженного состояния лакокрасочных покрытий в зависимости от шероховатости их поверхности / В. И. Логанина, М. А. Светалкина, М. В. Аriskин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2023. – № 2(770). – С. 36-43. – DOI 10.32683/0536-1052-2023-770-2-36-43. – EDN THXKYI.
8. Строкова, В. В. Стабилизация наноразмерных частиц серебра для условий работы в составе водно-дисперсионных лакокрасочных материалов / В. В. Строкова, П. С. Баскаков, К. П. Мальцева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 4. – С. 84-88. – EDN VRRFKJ.
9. Влияние концентрации наномодификаторов и влагосодержания образцов на изменение свойств эпоксидных полимеров / Д. Р. Низин, Т. А. Низина, И. П. Спирин [и др.] // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2024. – Т. 16, № 6. – С. 499-509. – DOI 10.15828/2075-8545-2024-16-6-499-509. – EDN QGYFFZ.
10. Логанина, В. И. Фотокаталитические свойства известковых покрытий с добавкой на основе синтетических алюмосиликатов / В. И. Логанина, А. Д. Рыжов // Региональная архитектура и строительство. – 2024. – № 2(59). – С. 66-72. – DOI 10.54734/20722958_2024_2_66. – EDN OKNOTO.
11. Комплексная модификация пенобетона неавтоклавно твердения / Д. Д. Нецвет, М. Н. Сивальнева, В. В. Нелюбова, В. В. Строкова // Вестник МГСУ. – 2025. – Т. 20, № 2. – С. 280-290. – DOI 10.22227/1997-0935.2025.2.280-290. – EDN ZQFBPU.
12. Гидрофобизация водно-дисперсионного лакокрасочного материала эмульсией полиэтилгидросилоксана / М. В. Никулина, А. Ю. Рязанова, В. В. Строкова [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2024. – Т. 32, № 4. – С. 451-456. – DOI 10.15372/KhUR2024575. – EDN RLWAK.
13. Гидротехнический бетон с защитным полимерным покрытием / Л. Ю. Матвеева, М. П. Кострикин, П. Д. Власова, А. А. Багдатов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2024. – № 10(790). – С. 65-75. – DOI 10.32683/0536-1052-2024-790-10-65-75. – EDN QPIZIY.
14. Каргин, В.А. Краткие очерки по физико-химии полимеров / В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский. – 2 изд. – Москва, 1967. – 232 с.
15. Тарер, А. А. Физико-химия полимеров / А.А. Тарер. – 2 изд. – М., 1968. – 320 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 01.08.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 01.08.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.



Научная статья

УДК 691.11

ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура

ВАК: 2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения; 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2025_3_21

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

© Авторы 2025
SPIN: 4845-3197

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович

академик РААСН, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительные конструкции»
Российская академия архитектуры и строительных наук;
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail:ntorm80@mail.ru)

SPIN: 1041-9513

АНПИЛОВ Сергей Михайлович

Заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук,
профессор кафедры ЖБК
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)
(Россия, Новосибирск, e-mail:anpilovsm@gmail.com)

SPIN: 4583-2960

ЛАЗАРЕВ Александр Львович

кандидат технических наук, доцент
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail:aleks-laz@yandex.ru)

SPIN: 5150-5308

АРХИПОВ Игорь Владимирович

аспирант
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail:arhipov_igor2000@list.ru)

Аннотация. В статье изложены результаты анализа экспериментальных данных, полученных при определении трещиностойкости цельной и клееной древесины. Рассмотрены различные методы расчета основного параметра трещиностойкости – коэффициента интенсивности напряжений. Представлены данные экспериментальных исследований, проведенных авторами.

Ключевые слова: КИН; трещиностойкость; трещина; цельная древесина; клееная древесина; волокна

Для цитирования: Анализ методов определения коэффициента интенсивности напряжений для изделий из древесины / В.П. Селяев, С.М. Анпилов, А.Л. Лазарев, И.В. Архипов // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 21-27. doi:10.51608/26867818_2025_3_21.



Original article

ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING THE STRESS INTENSITY FACTOR FOR WOOD PRODUCTS

© The Author(s) 2025

SELYAEV Vladimir Pavlovich

Academician of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of "Building Structures"
Russian Academy of Architecture and Construction Sciences;
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: ntorm80@mail.ru)

ANPILOV Sergey Mikhailovich

doctor of technical sciences, professor of the Department
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)
(Russia, Novosibirsk)

LAZAREV Alexander Lvovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)

ARKHIPOV Igor Vladimirovich

PhD Candidate
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)

Abstract. The article discusses the main issues of studying the crack resistance index of solid and glued wood. The analysis of methods for calculating the main parameter of crack resistance, the stress intensity factor (SIF), is carried out. The results of experimental studies conducted by the authors are presented.

Keywords: SIF; crack resistance; crack; solid wood; glued wood; fibers

For citation: Analysis of methods for determining the stress intensity factor for wood products / V.P. Selyaev, S.M. Anpilov, A.L. Lazarev, I.V. Arkhipov // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 21-27. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_21.

В последнее время все большее внимание уделяется вопросам обеспечения долговечности и надежности строительных конструкций. Данная проблема особенно актуальна для древесины в особенности для клееных конструкций на ее основе, поскольку их эксплуатационные характеристики во многом определяются способностью материала сопротивляться зарождению и развитию трещин.

Общеизвестно, что древесина – это ортотропный материал, в результате чего она имеет различные прочностные показатели относительно основных осей симметрии. Поэтому при изучении кинетики развития основных процессов разрушения древесины необходимым является учет направления развития трещины.

В отличие от изотропных материалов (бетон, металл), древесина имеет шесть плоскостей возможного развития трещин – РТ, РП, ТП, ТР, ПР, ПТ (рис. 1). Для цельной древесины наиболее распространенными случаями являются направления РП и ТП. В случае клееной древесины наиболее часто рост трещин происходит в направлении РП.

Основным показателем трещиностойкости материала является коэффициент интенсивности напряжений (КИН), который характеризует распределение напряжений в вершине трещины материала (критерий Ирвина) [1]. В зависимости от направления раскрытия трещины данный критерий подразделяют на два типа: нормального отрыва (K_I); сдвига (K_{II}) – поперечного (плоского) и продольного (антиплоского). На наш взгляд в случае применения критерия к древесине, КИН первого типа необходимо подразделять на два вида в зависимости от начального выполнения краевой трещины: вдоль или поперек волокон.

Большинство исследований, посвященных оценке трещиностойкости древесины, сосредоточены на изучении I-ой модели разрушения – нормального отрыва. В этом случае были разработаны и предложены методы расчета КИН, которые включают в себя испытания ряда образцов (таблица 1).

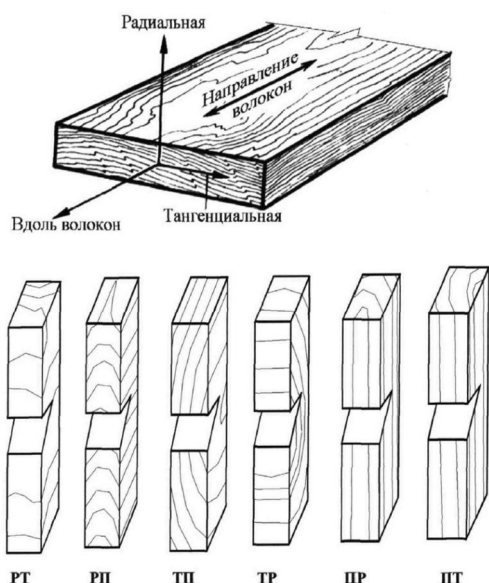


Рис. 1 – Основные направления распространения трещин в древесине

Работы по исследованию трещиностойкости (КИН) проводились для таких пород древесины как: западная белая сосна $K_{IC} = 270...286 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ (выпадающее $K_{IC} = 190 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) [2-4]; бальза $K_{IC} = 112 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [5]; дугласская ель $K_{IC} = 260...375 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ (выпадающие $K_{IC} = 540 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ и $K_{IC} = 847 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) [4, 6-14]; складчатый туй $K_{IC} = 180...190 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ (выпадающее $K_{IC} = 126 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) [4, 12, 15]; сахарный тополь $K_{IC} = 420...490 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [4, 9]; бумажная береза $K_{IC} = 564 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, северо-западный дуб $K_{IC} = 407 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [4]; сосна Энгельмана $K_{IC} = 210...230 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [12, 16]; ирландская сосна $K_{IC} = 440...450 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [17-19]; желтый тополь $K_{IC} = 517 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, черный орех $K_{IC} = 488 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, южная сосна $K_{IC} = 413...470 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [9]; вьющаяся сосна $K_{IC} = 225...307 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [12, 20]; западный болиголов $K_{IC} = 374 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, западная лиственница $K_{IC} = 407 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, сосна лоблоли $K_{IC} = 335 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, короткоигольчатая сосна $K_{IC} = 275 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, сосна желтая $K_{IC} = 291 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [12]; красная сосна $K_{IC} = 420 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [21]; ель $K_{IC} = 263 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [22]; сосна $K_{IC} = 267...418 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [23-24].

Зависимость значений КИН от породы древесины обусловлена влиянием плотности материала. Известно, что при изменении плотности материала от 600 до 400 кг/м^3 , прочностные показатели при сжатии и изгибе снижаются более чем в 1,5 раза.

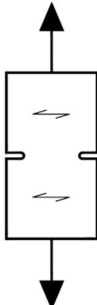
Результаты анализа экспериментальных исследований методов расчета КИН цельной древесины, проведенных вышеперечисленными авторами, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты работ по определению КИН цельной древесины по I-ой модели разрушения

Порода древесины	Исследо- ватели	КИН, при направ- лении трещины		Схема
		ТП	РП	
1	2	3	4	5
Образец Ц1				
Западная белая сосна	Портер	267	261	
Туя складчатая	Волш	179...188	-	
Южная сосна	Руди	413	-	
Вьющаяся сосна	Петтерсон-Бодиг	225	-	
	Пеликан	307	-	
Сосна лоблоли	Петтерсон-Бодиг	335	-	
Коротко-игольчатая сосна	Петтерсон-Бодиг	275	-	
Сосна желтая	Петтерсон-Бодиг	291	-	
Сосна	Найчук	394	267	
Образец Ц2				
Сосна Энгельмана	Мей	225	225	
Ирландская сосна	Эвинг и Вильяме	450	-	
Образец Ц3				
Ель	Гаппоев	-	263	
Образец Ц4				
Ель Дугласа	Миндесс, Надеу и Баррет	540	-	
Образец Ц5				
Ель Дугласа	Баррет	296	338	
	Ботрайт и Гаррет	300	500	
	Шнивинд и Центено	309	410	
Ель	Гаппоев	-	263	
Сосна	Авдяков	343	343	
Образец Ц6				
Западная белая сосна	Джонсон	190	-	
Ель Дугласа	Шнивинд	260	-	
	Руди	315	-	
	Вильсон	315	399	
	Лей	321	399	
	Петтерсон-Бодиг	368	-	
	Джонсон	375	295	
	Позняк	847	-	
Складчатая туя	Петтерсон-Бодиг	126	-	
	Лжонсон	184	252	



Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Сахарный тополь	Руди	419	-	
	Джонсон	492	-	
Бумажная береза	Джонсон	564	-	
Северо-западный дуб	Джонсон	407	-	
Сосна Энгельмана	Петтерсон-Бодиг	214	-	
Ирландская сосна	Хант и Кроуджер	-	500	
	Вильяме и Брич	439	-	
Желтый тополь	Руди	517	-	
Орех черный	Руди	488	-	
Болиголов западный	Петтерсон-Бодиг	374	-	
Лиственница западная	Петтерсон-Бодиг	407	-	
Сосна красная	Мол, Мерфи и Шотафер	420	-	
Сосна	Найчук	304	-	
Образец Ц7				
Сосна	Найчук	418	-	

Анализ данных показывает, что разность значений КИН для направлений ТП и РП колеблется в пределах 47%. Это напрямую отражает влияние ортотропности структуры материала на его трещиностойкость и прочность.

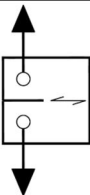
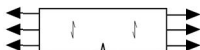
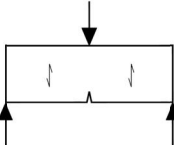
Работы, посвященные изучению трещиностойкости клееной древесины, малочисленны. Для определения КИН элементов клееной древесины разработано несколько типов образцов (таблица 2). Были получены значения КИН клееной древесины из сосны $K_{IC} = 194 \dots 286 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [24], $K_{IC} = 350 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [25], $K_{IC} = 253 \dots 314 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [26], $K_{IC} = 330 \dots 380 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [27], $K_{IC} = 470 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [28]; дугласовой ели $K_{IC} = 300 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [28].

Результаты расчета КИН клееной древесины приведены в таблице 2.

При рассмотрении элементов из клееной древесины особое внимание необходимо уделить ламелям (склеиваемым частям). Их ориентация в клееном пакете оказывает влияние на итоговое значение КИН материала. Автором работы [24] в ходе испытаний

образцов-балок (рис. 2) с инициированной трещиной вдоль волокон при различной ориентации склеиваемых частей установлено отличие в показателях критического КИН: для тангенциального направления – $326,91 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$; для радиального – $285,5 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$; для смешанного – $238,86 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Подобные различия в значениях подтверждаются авторами работы [27]: для тангенциального направления – $380 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$; для радиального – $330 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$; для смешанного – $350 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. На наш взгляд это связано с ортотропией материала, что можно подтвердить данными работы [29] о строении клеточной стенки древесины. Как известно клетка древесины состоит из первичной и вторичной стенок, последняя из которых разделяется на внешний слой S_1 ; средний слой S_2 ; внутренний слой S_3 . Каждый слой внутренней стенки в одном из трех направлений (Р-радиальный; Т-тангенциальном; П-продольном) имеет свои характеристики (таблица 3). В радиальном направлении все слои вторичной стенки имеют модуль упругости несколько ниже, чем в тангенциальном, что обосновывает данные работ вышеупомянутых авторов.

Таблица 2 – Результаты работ по определению КИН клееной древесины по I-ой модели разрушения

Порода древесины	Исследователи	КИН, кПа·м ^{1/2}	Схема
Образец К1			
Сосна	Авдяков	194	
	Соловьев, Румянцев	330...380	
Образец К2			
Сосна	Смит, Пени	470	
Ель Дугласа		300	
Образец К3			
Сосна	Авдяков	286	
	Масалов	253...314	
	Фритцше	350	

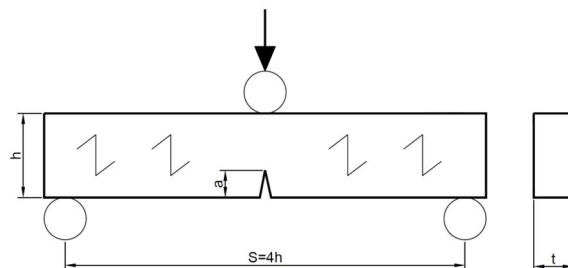


Рис. 2. Схема образца-балки



Таблица 3 – Характеристики слоев вторичной стенки
 S_1, S_2 и S_3

Слой	$E_i(\text{ГПа})$	$E_r(\text{ГПа})$	$E_n(\text{ГПа})$	ν_{zx}	ν_{xy}	ν_{yz}
S_3	8,43	7,98	50,36	0,39	0,33	0,32
S_2	9,85	9,16	63,96	0,24	0,23	0,33
S_1	8,54	8,02	53,10	0,38	0,33	0,32

E_i – модуль упругости в i -м направлении слоев клеточной стенки,
 ν_{ij} – коэффициент Пуассона слоев клеточной стенки

Большинство исследователей в случае нормального отрыва определяли КИН для цельной и клееной древесины при инициации начальной трещины вдоль волокон. Это обосновано низким пределом прочности древесины поперек волокон. При действии нагрузок перпендикулярно сечению образца, в цельной древесине происходит прирост трещин в направлениях ТП и РП. Для клееной древесины наиболее характерны сквозные трещины РП. Это обусловлено тем, что при производстве клееного бруса преимущественно применяются доски тангенциальной распиловки.

Исключением является наличие в клееном бруске пороков и механических вырезов, которые могут иметь произвольную ориентацию относительно главных осей, а также случаев, когда его разрушение происходит вследствие действия нормальных напряжений. Это приводит к зарождению и развитию трещин в растянутом слое древесины (поперек волокон). Поэтому учет КИН при инициации трещины поперек волокон является необходимым.

Изгибаемые элементы из клееной древесины в рабочем положении всегда имеют горизонтальное расположение клеевых швов. Они, хотя и являются достаточно прочными, служат потенциальным местом ослабления в конструкции. При таком расположении приложенная нагрузка распределяется именно через волокна, а не клеевой шов, что повышает общую надежность, прочность и устойчивость конструкции [30]. Поэтому в КДК при изучении параметра трещиностойкости при инициации трещины поперек волокон целесообразно учитывать только одно направление выполнения начального надреза – РР.

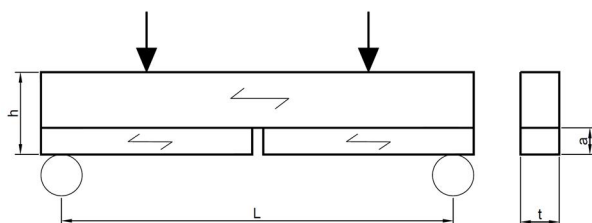


Рис. 3. Образец, испытанный Авдяковым Д. В.

Исследования по определению КИН при выполнении начального надпила поперек волокон проводились в работе [24] на образцах-балках (рис. 3): общий пролет $L = 450\text{ мм}$, высота $h = 45\text{ мм}$, ширина

образца $t = 40\text{ мм}$. В результате автором работы было получено значение КИН $K_{IC} = 118\text{ кПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ при рекомендованной длине трещины $a = 5\text{ мм}$ (0,11).

Для определения КИН согласно методике [31] нами был проведен эксперимент на изгибаемых балочных образцах с краевой трещиной (ИБК-образец) с размерами $40\times 40\times 160\text{ мм}$ и $50\times 50\times 200\text{ мм}$ (рис. 4). Начальная трещина выполнялась в растянутом слое, соотношение длины трещины к высоте образца составляла 0,25. Влажность образцов перед началом испытаний была в пределах 8 – 9%.

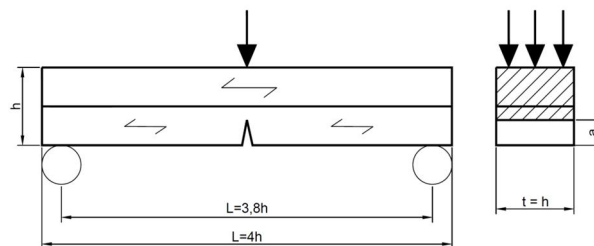


Рис. 4. ИБК-образец, испытанный авторами

Результаты испытаний ИБК-образцов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты испытаний ИБК-образцов

Се- рия	Об- ра- зец	Нагрузка старта трещины, Н	Крит. нагрузка, Н	КИН, $\text{кПа}\cdot\text{м}^{1/2}$	КИН после обработки, $\text{кПа}\cdot\text{м}^{1/2}$
Клееная древесина					
ИБК1	1	5022	8400	130,543	123,249
	2	-	8240	-	
	3	4340	10880	112,836	
	4	4991	9680	129,810	
	5	3286	6730	085,207	
	6	5704	10240	149,667	
	7	3906	9100	101,661	
	8	-	8080	-	
	9	4340	11130	113,237	
	10	4960	11270	129,823	
ИБК2	1	4030	7920	100,997	137,678
	2	4960	12150	125,931	
	3	6913	10320	173,902	
	4	-	7600	-	
	5	6541	10960	161,938	
	6	7750	14200	196,916	
	7	5177	13900	131,158	
	8	4712	10160	119,814	
	9	5022	10580	122,188	
	10	5146	10170	128,813	

При испытаниях ИБК-образцов было установлено, что зарождение трещины происходит в месте наиболее близком к вершине начального надпила. Во всех случаях трещина прорастала вдоль волокон (РП) отделяя нижнюю часть образца, которая по высоте соответствует длине начального надпила, от основного объема образца. Это обусловлено тем, что предел прочности древесины на растяжение попе-



рек волокон значительно ниже предела прочности на растяжение вдоль волокон. Данный процесс напрямую отражает особенности функционирования изгибаемых балочных элементов, в которых изначально рост трещины происходит перпендикулярно волокнам, т. е. в направлении ПР. В некоторый момент времени она меняет направление развития и начинает движение вдоль волокон (РП). На наш взгляд этот механизм можно охарактеризовать следующим образом: старт трещины происходит в момент достижения крайними волокнами растянутой зоны предела прочности на растяжение – волокно разрывается и зарождается трещина; как известно процесс роста трещин – это энергетически выгодный процесс, а поскольку для поворота трещины не требуется выделение дополнительной энергии [31], то трещине наиболее выгодно развитие по пути наименьшего сопротивления, т. е. вдоль волокон.

При проведении испытаний наблюдалось два случая развития трещин: в одном и в двух направлениях. Это напрямую говорит о влиянии неоднородности структуры материала на характер роста трещин.

По результатам исследований было установлено, что во всех образцах, где наблюдалось зарождение двух трещин, старт второй происходил после достижения образцом определенного уровня деформации по отношению к деформации старта первой трещины. Разница значений составила примерно 1,8 мм.

Необходимо отметить, что подобный механизм разрушения требует дополнительного изучения, ввиду необходимости учета внутреннего строения, которое напрямую зависит от породы древесины.

Анализ экспериментальных данных показал, что в среднем КИН равен $123,249 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ для образцов $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$; $137,678 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ для образцов $50 \times 50 \times 200 \text{ мм}$. Среднеквадратичное отклонение результатов составляет 7,21, что говорит о стабильности полученных данных. При сравнении полученных данных с данными работы Авдякова имеем различие в значениях 4 % и 14 %, что говорит о достоверности полученных коэффициентов вязкости разрушения для данного случая нагружения и инициации трещины.

Выводы

Проведен анализ научной литературы связанной с определением параметра трещиностойкости цельной и клееной древесины; рассмотрены основные методы определения КИН цельной и клееной древесины; установлено влияние ортотропности на КИН; обоснована важность определения вязкости разрушения при иницировании трещины поперек волокон (направление ПР); описан механизм развития трещин в изгибаемых деревянных элементах; по-

лучены значения критического КИН клееной древесины при выбранном случае иницирования трещины в образце.

Библиографический список

1. Irwin G. R. Fracture // Handbuch der Physik / Encyclopedia of Physics. Vol. 3/6. Berlin: Springer Verlag, 1958. Pp. 551-590
2. Porter, A.W., On the mechanics of fracture in wood [Text] / A.W. Porter // Forest Prod. J., 1964. №14(8)- P.325-331
3. DeBaise, G.R. Morphology and mechanics of wood fracture [Text] / G.R. DeBaise, A.W. Porter, R.E. Pentoney // Mater. Res. and Stand., 1966. №6(10)- P. 493-499.
4. Johnson, J.A. Crack initiation in wood plates [Text] // J.A. Johnson // Wood Sci., 1973. №6(2)-P.151-158.
5. Wu, E.M. Application of fracture mechanics to anisotropic plates [Text] / E.M. Wu // Am. Soc. Mech. Eng., J. Appl. Mech., 1967. №34(4)- P.967-974.
6. Barrett, J.D. Effect of crack-front width on fracture toughness of Douglas-fir [Text] / J.D. Barrett // Eng. Fract. Mech, 1976. №8(4)- P. 711-717.
7. Schniewind, A.P. Fracture toughness and duration of load factor I. Six principle systems of crack propagation and the duration factor for crack propagation parallel to grain [Text] / A.P. Schniewind, J.C. Centeno // Wood and Fiber, 1973. №5(2)- P.152-159.
8. Mindess, S. Effect of constant deformation rate on the strength perpendicular to the grain of Douglas-fir [Text] / S. Mindess, J.S. Nadeau, J.D. Barrett // Wood Sci., 1976. №8(4) - P.262-266.
9. Rudy, T.e. Effect of grain angel orientation on the fracture toughness of wood adhesive systems [Text] / T.C. Rudy // M.S. thesis, Dept. of Forestry and Forest Products. VPI & SU, Blacksburg, Va, 1977.-341 p.
10. Lei, Y-K. Fracture toughness of oriented flakeboard [Text] / Y-K. Lei, J.B. Wilson // Wood Sci., 1980. №12(3)-P. 154-161.
11. Lei, Y-K. A model for predicting fracture toughness of flakeboard [Text] / Y-K. Lei, J.B. Wilson // Wood Sci., 1981. №13(3)- P. 151-156.
12. Petterson, R.W. Prediction of fracture toughness of conifers [Text] / R.W. Petterson, J. Bodig // Wood and Fiber Sci., 1983. №15(4)- P.302-316.
13. Boatright, S.W.J. The effect of microstructure and stress state on fracture behavior of wood [Text] / S.W.J. Boatright, G.G.Garret // J. Mater. Sci., 1983. №18(7)-P. 2188-2199.
14. Schniewind, A.P. On the fracture toughness of Douglas-fir wood [Text] / A.P. Schniewind, R.A. Pozniak // Eng. Fract. Mech., 1983. №2- P.223-233.
15. Walsh, P.F. The interaction of butt joints [Text] / P.F. Walsh // J. Inst. Wood Sci., 1973. №6(2)- P.22-27.
16. Mai, Y.W. On the velocity-dependent fracture toughness of wood [Text] / Y.W. Mai // Wood Sci., 1975. №8(1)- P.364-367.



17. Williams, J.G. Fracture in anisotropic media, cracks, and fracture [Text] / J.G. Williams, M.W. Birch // STP 601. Am. Soc. Test. and Mater., 1976. №27(4)- P. 125-137.
18. Ewing, P.D. Thickness and moisture content effect in the fracture toughness of Scots pine [Text] / P.D. Ewing, J.G. Williams // J. Mater. Sci., 1979. №14.- P. 2959-2966.
19. Hunt, D.J. Mode II fracture toughness of wood measured by a mixed-mode test method [Text] // D.J. Hunt, W.P. Croager // J. Mater. Sci. Letters, 1982. №1- P.77-79.
20. Pellicane, P.J. Ultimate tensile strength analysis of wood [Text] / P.J. Pellicane // Dept. of Forest and Wood Sci, Colorado State Univ., Ft. Collins, Colo, 1980.- 357 p.
21. Mall, S. Criterion for the mixed mode fracture of wood [Text] / S. Mall, J.F. Merphy, J.E. Shottafer // Am. Soc. CivilEng. Mech., 1983. №109(3)- P.680-690.
22. Гаппоев М.М. Оценка несущей способности деревянных конструкций методами механики разрушения // Автореф. дис. докт. техн. наук.- М., 1996.- 34 с.
23. Найчук А. Я. Прочность элементов деревянных конструкций в условиях сложного неоднородного напряженного состояния :дис., канд. техн. наук: 05.23.01 / Найчук А. Я. – М., 2006. – 278 с.
24. Авдяков Д. В. Контроль трещиностойкости изделий и конструкций из клееной древесины методом статического разрушения образцов : дис., канд. техн. наук: 05.11.13 / Авдяков Д. В. – Орел, 2006. – 144 с.
25. Fritzsche, K.P. Biegetrager mi Kerbe [Text] / K.P. Fritzsche / Universitat Munchen, 1985.-185 p.
26. Масалов А.В. Трещиностойкость изгибаемых клееных элементов // Автореф. дис. канд. техн. наук.- Воронеж, 1992.- 25с.
27. Соловьев, В.В. Исследование трещиностойкости клееных соединений древесины для трещин нормального отрыва / В.В. Соловьев, М.В. Румянцев // Изв. Вузов. Лесной журнал, 2000. № 5-6.- С. 128-132.
28. Smith, T.W. Fracture mechanics analysis of butt joints in laminated wood beams / T.W. Smith, D.T. Penney // Wood Sci., 1980. №12(4)- P.227-235.
29. Wang, D., Lin, L., Fu, F. et al. The fracture mechanism of softwood via hierarchical modelling analysis. J Wood Sci 65, 58 (2019).
30. ГОСТ 20850-2014 Конструкции деревянные клееные несущие. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019. – 34 с.
31. ГОСТ 29167-2021. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.- М.: Российский инст. стандартизации, 2022,- 22 с.
32. Авдяков, Д. В. Применение методов механики разрушения для оценки стойкости клееной древесины изгибаемых элементов к образованию трещин / Д. В. Авдяков // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения : Материалы Международных академических чтений, Курск, 18 ноября 2020 года / Под ред. С.И. Меркулова. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2020. – С. 161-167. – EDN HBYCJY.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 25.06.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 25.06.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.



Научная статья

УДК 69.04

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

БАК: 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения; 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2025_3_28

ХИМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ НАПОЛНЕННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЕЙСТВИЮ РАСТВОРОВ ВИННОЙ КИСЛОТЫ

© Авторы 2025
SPIN: 4845-3197

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович
академик РААСН, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительные конструкции»
Российская академия архитектуры и строительных наук;
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: ntorm80@mail.ru)

SPIN: 1041-9513

АНПИЛОВ Сергей Михайлович
Заслуженный изобретатель РФ, Почетный строитель РФ, советник РААСН,
д.т.н., профессор кафедры ЖБК
Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет «Сибстрин»
(Россия, Новосибирск, e-mail: anpilovsm@yandex.ru)

SPIN: 7431- 8742

КУПРИЯШКИНА Людмила Ивановна
кандидат технических наук, доцент
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск)

Аннотация. В статье изучено влияние наполнителя на химическое сопротивление цементного камня в растворах винной кислоты. В качестве наполнителя использовались цеолитсодержащие породы. Получены уравнения регрессии прочности наполненных цементных композитов и построены графики влияния степени и крупности наполнителя на прочность. Установлен вид и характер кинетических зависимостей концентрации кислоты. Выделенный из фильтрата осадок, был исследован методом ионной хроматографии. Изучена структура осадка, полученная на многофункциональном растровом электронном микроскопе с интегрированной системой фокусированного ионного пучка Quanta 200i 3DFEI.

Ключевые слова: цементный камень; винная кислота; наполнитель; цеолитсодержащие породы; прочность, химическое сопротивление; фильтрат

Для цитирования: Селяев В.П., Анпилов С.М., Куприяшкина Л.И. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов действию растворов винной кислоты // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 28-33. doi:10.51608/26867818_2025_3_28.

Original article

CHEMICAL RESISTANCE OF THE FILLED CEMENT COMPOSITESTO THE ACTION OF TARTARIC ACID SOLUTIONS

© The Author(s) 2025

SELYAEV Vladimir Pavlovich
Academician of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of "Building Structures"
Russian Academy of Architecture and Construction Sciences;
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk, e-mail: ntorm80@mail.ru)
ANPILOV Sergey Mikhailovich
doctor of technical sciences, professor of the Department



Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)
(Russia, Novosibirsk)

KUPRIYASHKINA Lyudmila Ivanovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev

(Russia, Saransk; e-mail: delmira2009@yandex.ru)

Abstract. The article examines the effect of filler on the chemical resistance of cement stone in tartaric acid solutions. Zeolite-containing rocks were used as a filler. Regression equations for the strength of filled cement composites are obtained, and graphs of the effect of the degree and size of the filler on strength are constructed. The type and nature of kinetic dependences of acid concentration are established. The precipitate isolated from the filtrate was examined by ion chromatography. The sediment structure obtained on a multifunctional scanning electron microscope with an integrated focused ion beam system Quanta 200i 3D FEI has been studied.

Keywords: cement stone; tartaric acid; filler; zeolite-containing rocks; strength; chemical resistance; filtrate

For citation: Selyaev V.P., Anpilov S.M., Kupriyashkina L.I. Chemical resistance of the filled cement compositesto the action of tartaric acid solutions // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 28-33. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_28.

Целью настоящего исследования являлось комплексное изучение процессов взаимодействия системы «цементный камень – раствор винной кислоты» [1-2]. Винная кислота $\text{CH}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ белое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде. Предполагается, что гидратация клинкерных минералов происходит не полностью, и оставшиеся ядра цементных зёрен в цементном камне сохраняются длительное время. Они выполняют роль наполнителей и при благоприятных условиях, гидратируя, повышают прочность цементного камня, следовательно часть клинкерного наполнителя можно заменить другими минеральными включениями, обеспечив, при этом, условия более глубокой гидратации цемента, например, увеличением его дисперсности. При обоснованном подборе наполнителя, его дисперсности более половины клинкерной части вяжущего без ущерба для свойств бетона можно заменить наполнителем [3-5].

В настоящее время в целях экономии вяжущего и улучшения свойств цементных композитов в качестве наполнителя используются минеральные добавки – цеолиты содержащие оксид кремния более 70 %.

Пористая микроструктура и другие особенности строения цеолитов определяют их уникальные адсорбционные катионообменные и каталитические свойства. Обезвоженные путем нагревания цеолиты приобретают способность сорбировать молекулы различных веществ, которые по своим размерам не превышают диаметр входных каналов-окон (молекулярно-ситовый эффект). В процессах адсорбции и ионного обмена проявляется тенденция цеолитов к избирательному поглощению одних молекул или ионов другими. Реакционная способность сорбированных цеолитами молекул резко и избирательно увеличивается, в результате они получают каталитическую активность во многих реакциях, лежащих в основе промышлен-

ных процессов при переработке нефти (например, крекинг), природного газа, в органическом синтезе и др. При изменении условий сорбированные молекулы могут быть легко удалены, а обменные катионы замещены другими, в результате цеолиты регенерируются и могут работать в многоцикловом режиме [6]. Обработка растворами кислот, щелочей и солей позволяет модифицировать цеолиты и целенаправленно изменять их свойства применительно к решению поставленной задачи.

Таблица 1 – План эксперимента наполненных цементных композитов (наполнитель – цеолитсодержащая порода)

№ состава	Матрица планирования		Функции отклика			
	X_1	X_2	$R_{\text{сж}}$ без пропитки	$R_{\text{сж}}$ концентрация 0,5 г/мл	$R_{\text{сж}}$ концентрация 1 г/мл	$R_{\text{сж}}$ концентрация 2 г/мл
1	0	0	39,5	42,42	44,09	33,82
2	1	1	38,1	29,74	29,76	21,85
3	-1	1	31,25	38,69	38,66	37,92
4	-1	-1	45,16	48,83	49,43	33,02
5	1	-1	39,7	42,18	35,23	33,6
6	1	0	37,86	38,38	37,54	25,78
7	0	1	39,65	36,66	38,96	25,19
8	-1	0	37,37	50,42	47,28	39,62
9	0	-1	34,05	35,94	35,52	27,44

$$R_{\text{сж}} = 34,9 - 1,39 \cdot X_1^2 + 0,8 \cdot X_2^2 - 2,35 \cdot X_1 - 6,24 \cdot X_2 + 3,8 \cdot X_1 \cdot X_2$$

$$R_{\text{сж}}(0,5) = 41,75 + 3,04 \cdot X_1^2 - 5,06 \cdot X_2^2 - 4,36 \cdot X_1 - 4,35 \cdot X_2 - 0,58 \cdot X_1 \cdot X_2$$

$$R_{\text{сж}}(1) = 42,94 + 0,15 \cdot X_1^2 - 5,02 \cdot X_2^2 - 5,58 \cdot X_1 - 2,81 \cdot X_2 + 1,33 \cdot X_1 \cdot X_2$$

$$R_{\text{сж}}(2) = 31,11 + 3,21 \cdot X_1^2 - 3,18 \cdot X_2^2 - 4,53 \cdot X_1 - 1,59 \cdot X_2 + 4,16 \cdot X_1 \cdot X_2$$

В работе в качестве наполнителя использовалась цеолитсодержащая порода. Степень наполнения составляла 10%, 20%, 30 % (X_1); фракция наполнителя 0,315; 0,63; 1,25 мм (X_2). В качестве агрессивной среды были применены растворы винной кислоты 0,5; 1,0 и 2,0%-ной концентрации. Матрица планирования двухфакторного плана эксперимента представлена в таблице 1. В результате обработки эксперименталь-



ных данных получены уравнения регрессии прочно-сти наполненных цементных композитов и построены графики влияния степени и крупности наполнителя на прочность цементных композитов (рис. 1), которые показали, что степень наполнения и крупность фракции влияют на свойства цементного камня.

При выдерживании композитов в 2,0%-ной винной кислоте, наблюдается образование массы осадка на поверхности образца. При большом увеличении прослеживается его структура в виде снежинок (рис. 2). Образование осадка и увеличение его массы происходит с повышением концентрации винной кислоты от 0,5% до 2,0% 0,315мм. В работе

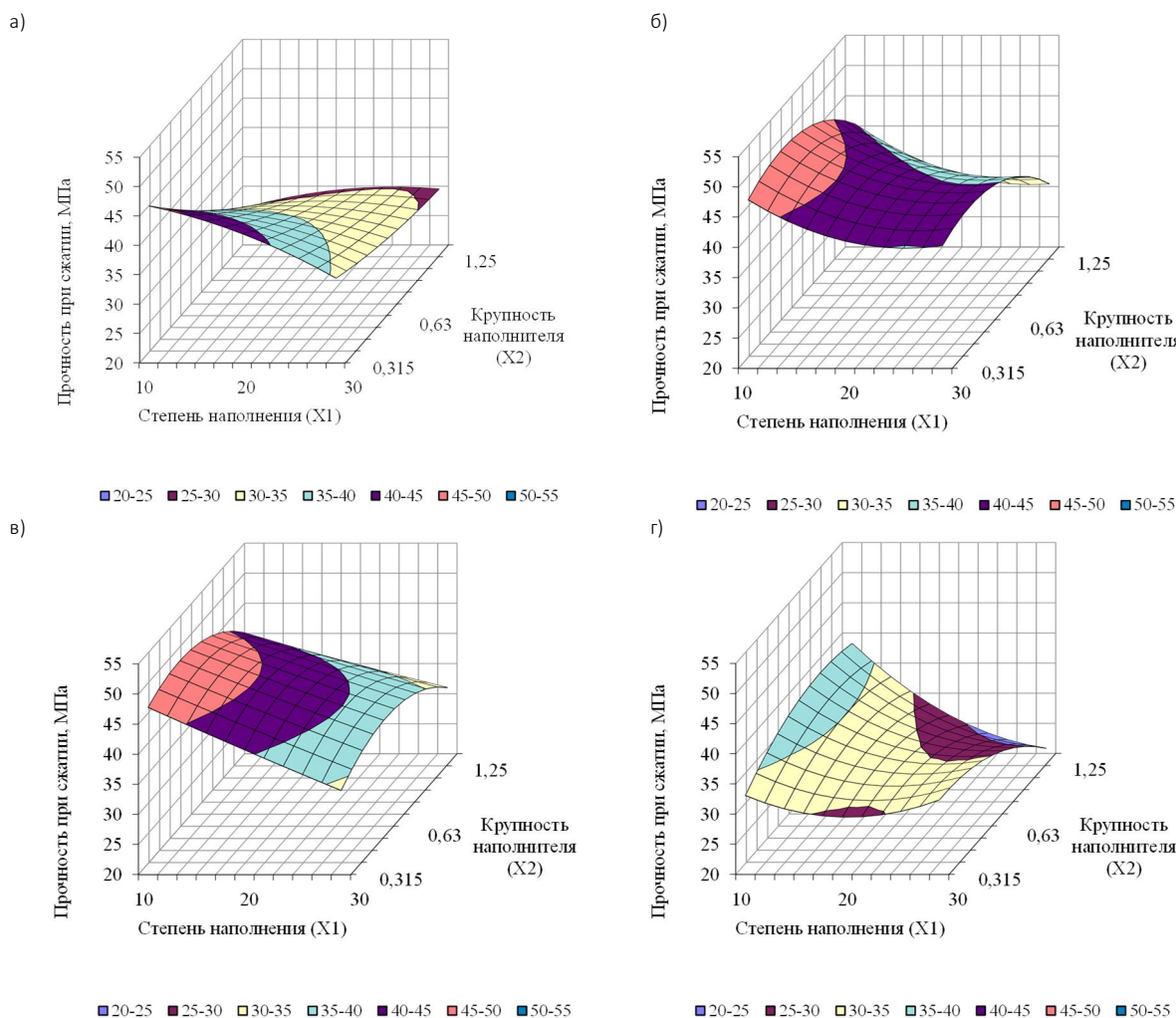


Рис. 1. Влияние степени и крупности наполнителя на прочность цементных композитов:

- а) без пропитки; б) пропитанных раствором винной кислоты, $C=0,5\%$;
в) пропитанных раствором винной кислоты, $C=1,0\%$; г) пропитанных раствором винной кислоты, $C=2,0\%$

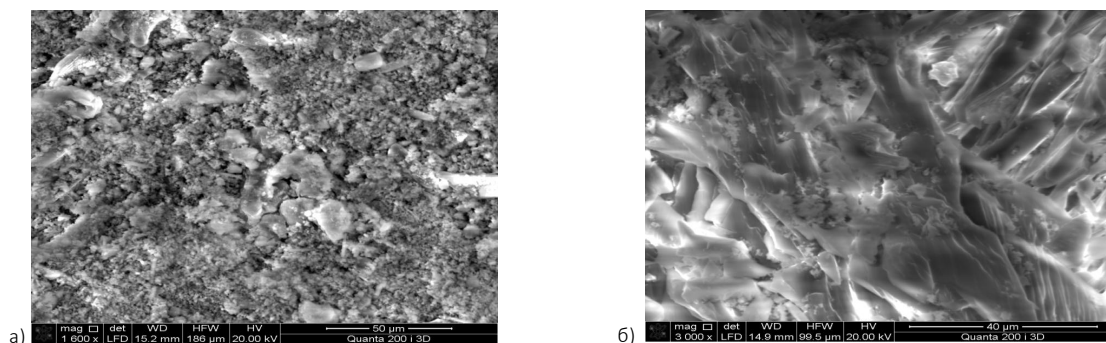


Рисунок 2 – Структура осадка, полученная на многофункциональном растровом электронном микроскопе с интегрированной системой фокусированного ионного пучка Quanta 200i 3DFEI при увеличении $\times 800$ (а); $\times 3000$ (б)



использовали образцы-кубики цементных композитов, в которых менялась степень наполнения ЦСП от 10% до 30% от массы цемента и крупность наполнителя, диаметр гранул (d) составлял от 0,315- 0,630- 1,250 мм. Кубики цементных композитов помещали в емкости и заливали раствором винной кислоты различной концентрации: 0,5; 1,0; 2,0%. Выдерживали в течение 5-14 дней, прослеживая за изменением концентрации тартрат-ионов и pH раствора, а также наблюдали за окраской раствора. Фильтрат окрашивался в желто-зеленый цвет. При этом с повышением концентрации кислоты наблюдали усиление окраски фильтрата.

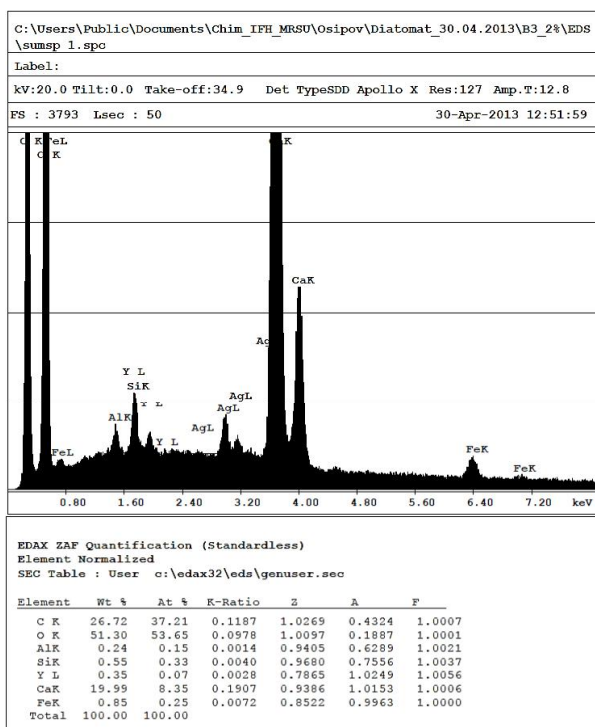


Рис. 3. Структура осадка, полученного после выдержки композита в 2,0% винной кислоте, определена с помощью многофункционального растрового электронного микроскопа с интегрированной системой фокусированного ионного пучка Quanta 200i 3DFEI при увеличении $\times 1600$. Степень наполнения 30%. Крупность наполнителя 0,315 мм

По истечении времени композиты отделяли от раствора, просушивали на воздухе на фильтровальной бумаге, а затем в сушильном шкафу при температуре 60-90°C. Композиты испытывали на прочность на разрывной машине Р-20 со шкалой 4 тонны. Фильтрат отделяли от образовавшегося осадка и анализировали на содержание ионов: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ методом ионной хроматографии. Содержание ионов Fe^{3+} , Al^{3+} определяли атомно-абсорбционным методом [7-10]. Кроме того, осадок, выделенный из фильтрата, сушили и исследовали методом растровой электронной микроскопии (рис. 3).

В работе изучено взаимодействие винной кислоты с цементным камнем. Установлен вид и характер кинетических зависимостей концентрации кислоты (τ , сут и pH- τ , сут).

Результаты анализа рисунков 4, 5 показывают, что в растворах концентрация тартрат-ионов постепенно понижается. Заметное понижение концентрации наблюдается в первые 5-6 суток. С повышением исходной концентрации до 2,0% наблюдается медленное ее снижение и только через 14 суток она становится минимальной.

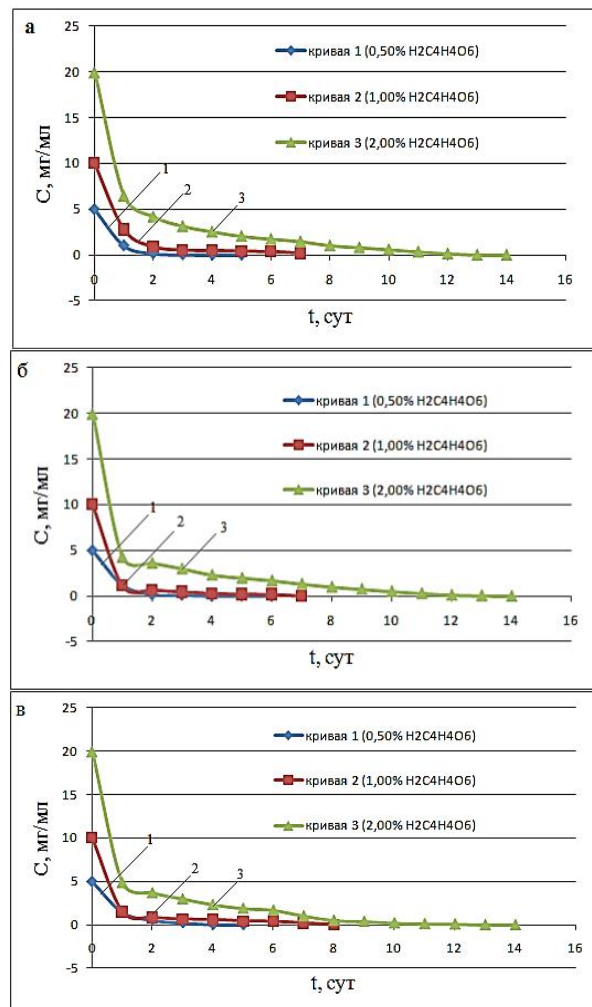


Рис. 4. Изменение концентрации винной кислоты от времени контакта с цементным камнем, наполненным ЦСП:

а) 10%; б) 20%; в) 30%. Диаметр гранул ЦСП – 0,315 мм

Следует заметить, что ход кривых $\text{CH}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ – τ , не зависит от степени наполнения цементного камня ЦСП и размера гранул наполнителя. Вероятно, эти факторы оказывают влияние на прочность композитов на стадии их затвердевания [11-14].

В течение всего времени выдерживания цементного камня в растворах винной кислоты различной концентрации контролировали изменение pH раствора. Значениях pH представлены на кинетиче-



ских кривых pH – t, (рис. 5). На графиках зависимости pH – t, наблюдается монотонное возрастание pH реакционной смеси (переход в щелочную область).

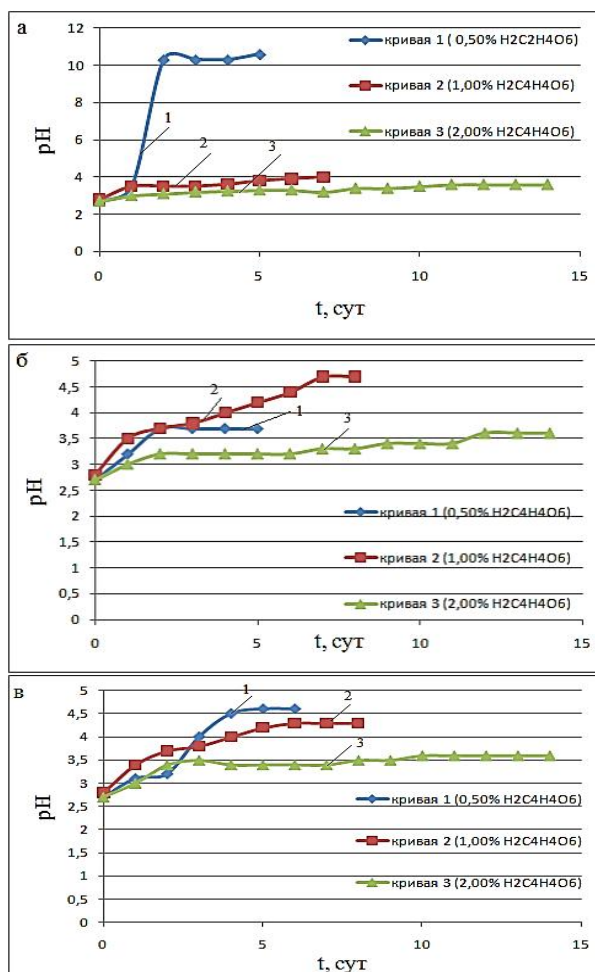


Рис. 5. Динамика изменения pH среды при выдерживании цементного камня в растворах винной кислоты различной концентрации в течение 14 суток. Содержание ЦСП в цементном камне: а) 10%; б) 20%; в) 30%. Диаметр гранул ЦСП – 0,315 мм

Проведенные исследования позволили сделать следующие **выводы**:

- наибольшее значение по прочности на сжатие показывают образцы с 20% содержанием наполнителя; увеличение степени наполнения приводит к снижению прочности, но не ниже контрольной прочности образцов;
- в подавляющем большинстве случаев образцы с крупностью наполнителя 0,63 мм показывают максимальное значение прочности;
- при пропитке цементных композитов винной кислотой с большими концентрациями прочность бетона понижается.

Прочность композитов, выдержанных в растворах винной кислоты зависит от концентрации. Для композита, выдержанного в 2,0% растворе винной кислоты прочность составила 21,85 МПа. Для

композита, выдержанного в 1,0% растворе винной кислоты прочность составила 37,54 МПа. Прочность композитов зависит так же от степени наполнения и размера гранул ЦСП.

Композит с прочностью 21,85 МПа имеет степень наполнения 30% ЦСП и размер гранул 1,25 мм. Композит с прочностью 37,54 МПа имеет размер гранул 0,630 мм, прочность – 49,43 МПа имеет композит со степенью наполнения ЦСП – 10% и размером гранул 0,315 мм. Образцы, пропитанные раствором с большими концентрациями кислоты имеют меньшую прочность.

При контакте цементных композитов с раствором винной кислоты происходит выщелачивание гидроксида кальция из цементного камня за счет гидратации, что приводит к изменению pH раствора.

Библиографический список

1. Соломатов В.И., Селяев В.П., Соколова Ю.А. Химическое сопротивление материалов. 2-е изд. перераб. и дополн. – М.: РААСН, 2001. – 248 с.
2. Москвин В.М., Иванов А.М., Алексеев С.Н. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М.: Стройиздат, 1980. – 533 с.
3. Селяев В.П., Неверов В.А., Куприяшкина, Л.И. Влияние цеолитсодержащих наполнителей на прочность и пористость цементных композитов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2014. №6. – С. 36-44.
4. Седова А.А., Иванов В.М., Селяев В.П., Осипов А.К., Куприяшкина Л.И. Изучение процессов повреждения цементного камня растворами карбоновых кислот // Вестник Моск. ун-та. Сер.2, Химия. 2014. Т.55. №5. – С. 296-301.
5. Селяев В.П., Седова А.А., Куприяшкина Л.И., Осипов А.К. Изучение процессов повреждения цементного камня, наполненного цеолитсодержащей породой, растворами хлористоводородной кислоты // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2014. №7. – С. 32-38.
6. Волкова, С. Н. Перколяционная модель деградации композиционных материалов / С. Н. Волкова // Эксперт: теория и практика. – 2024. – № 4(27). – С. 21-24. – DOI 10.51608/26867818_2024_4_21. – EDNNDLIQY.
7. Краткий справочник физико-химических величин. Издание 10, испр. и дополн. / под ред. А.А. Равделя, А.М. Пономаревой – СПб.: «Иван Федоров». 2003. – 240 с.
8. Бузулуков В.И. Лабораторный практикум по физической химии: Химическая кинетика. – Саранск.: Изд-во Мордов. ун-та. 2004. – 80 с.
9. Селяев, В. П. Деградация цементных композитов под действием растворов карбоновых кислот / В. П. Селяев, Л. И. Куприяшкина // Эксперт: теория и практика. – 2025. – № 1(28). – С. 185-189. – DOI 10.51608/26867818_2025_1_185. – EDNOENRFS.
10. Селяев, В. П. Расчётные модели и методы оценки и прогнозирования долговечности железобетонных конструкций / В. П. Селяев, П. В. Селяев, Е. Л. Кечуткина // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году : Сборник научных трудов РААСН: в 2 томах / Рос-



сией академия архитектуры и строительных наук (РААСН).
Том 2. – М. : Изд-во АСВ, 2021. – С. 246-256. – EDN GNIBAX.

11. Рахимбаев Ш.М. Процессы колюматации при химической коррозии цементных систем. Физическая модель // Бетон и железобетон. – 2013. - №4. – С. 30-32.

12. Селяев, В. П. Исследование структуры дисперсных микрокремнеземов / В. П. Селяев, Л. И. Куприяшклина // Эксперт: теория и практика. – 2024. – № 4(27). – С. 100-104. – DOI 10.51608/26867818_2024_4_100. – EDN HOWBJJ.

13. Рахимбаев, Ш. М. Кинетические константы твердения цемента / Ш. М. Рахимбаев, Т. В. Аниканова, А. С. Погромский // Химия, физика и механика материалов. – 2022. – № 1(32). – С. 5-14. – EDN HVIGQW.

14. Канаева, Е. А. Живучесть зданий и сооружений при прогрессирующем разрушении / Е. А. Канаева // The World of Science Without Borders, 11 февраля 2022 года, 2022. – P. 402-405. – EDN UWVWVW.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 02.07.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 02.07.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.



Научная статья

УДК 691.327:666.973:539.4

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

БАК: 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения; 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2025_3_34

РОЛЬ ДИФфуЗИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛИМЕРНОГО КЛЯЩЕГО СЛОЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА РАСТИТЕЛЬНОМ ЗАПОЛНИТЕЛЕ

© Авторы, 2025

SPIN: 2883-1204

СМИРНОВА Ольга Евгеньевна

кандидат технических наук, доцент

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: smirnova.olj@yandex.ru)*

SPIN: 6626-3274

ПИЧУГИН Анатолий Петрович

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник

*Новосибирский государственный аграрный университет
(Россия, Новосибирск, e-mail: gmunsau@mail.ru)*

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы, связанные с формированием структуры композиционных материалов на основе комбинированного органического наполнителя и отходов модифицированного пенополистирола. Рассмотрен процесс диффузионного взаимодействия при образования макроструктуры композита за счет воздействия клеевой составляющей на поверхности пенополистирольных гранул. Установлена природа влияния модифицирующих пенополистирольных гранул на обеспечение плотной структуры материала. Введение модифицированных гранул пенополистирола обуславливает упорядочение матрицы композита за счет выстраивания комплексной структурообразующей системы, играющей роль каркаса. Модифицированные гранулы обладают высокой адгезией к лигносодержащему поликомпонентному наполнителю и в то же время играют роль центров образования макро-кластеров, что позволило выработать оптимальные рецептурно-технологические параметры получения нового композиционного материала.

Ключевые слова: органические отходы; пенополистирол; композиционные материалы; диффузия связующего в растительное сырьё; структура; лигнин; стеклинг-взаимодействие

Для цитирования: Смирнова О.Е., Пичугин А.П. Роль диффузионных показателей полимерного клящего слоя при изготовлении строительных композитов на растительном наполнителе // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 34-39. doi:10.51608/26867818_2025_3_34.

Original article

THE ROLE OF DIFFUSION INDICATORS OF THE POLYMER GLUE LAYER IN THE MANUFACTURE OF BUILDING COMPOSITES ON A VEGETABLE FILLER

© The Author(s) 2025

SMIRNOVA Olga Evgenievna

Candidate of Sciences (Technical), Associate Professor

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)
(Russia, Novosibirsk)*

PICHUGIN Anatoly Petrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher

Novosibirsk State Agrarian University (Russia, Novosibirsk)

Abstract. This article discusses the issues related to the formation of the structure of composite materials based on a combined organic filler and waste-modified polystyrene foam. The process of diffusion interaction in the formation of the composite's macrostructure due to the influence of the adhesive component on the surface of polystyrene granules is considered. The nature of the effect of modifying polystyrene foam granules on ensuring a dense structure of the material has been established. The introduction of modified polystyrene foam granules causes the matrix of the composite to become more ordered by forming a complex structure-forming system that acts as a framework. The modified granules have high adhesion to the lignin-



containing polycomponent filler and at the same time act as centers for the formation of macro-clusters, which has allowed us to develop the optimal formulation and technological parameters for obtaining a new composite material.

Keywords: organic waste; expanded polystyrene; composite materials; diffusion of the binder into plant raw materials; structure; lignin; stacking interaction

For citation: Smirnova O.E., Pichugin A.P. The role of diffusion indicators of the polymer glue layer in the manufacture of building composites on a vegetable filler // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 34-39. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_34.

Введение. Ежегодно в России образуется около 700-750 миллионов тонн отходов лесо- и деревообработки, а также 600-630 миллионов тонн сельскохозяйственных растительных отходов. Эти колоссальные объемы загрязняют водоемы, гниют или сжигаются, что негативно сказывается на экологической ситуации в регионах. Не менее важной стоит проблема вторичного использования полимерных отходов в виде упаковок и других сырьевых ресурсов. Так, одним из значительных объемов этих отходов является пенополистирол. Поэтому разработка эффективных методов переработки растительного сырья и органических полимерных отходов, включая пенополистирол, является актуальной и востребованной задачей для получения теплоизоляционных материалов и изделий. Авторами разработана технология получения таких комбинированных композитов, обладающих повышенными технико-экономическими показателями. В данной статье поставлен вопрос о диффузионных процессах клеевого полимерного состава в растительное сырьё, что позволяет оптимизировать рецептурно-технологические параметры производства плит и гранул из этих сырьевых ресурсов.

Теоретические предпосылки для исследований. Существуют несколько теорий диффузионного взаимодействия и создания диффузионного слоя, базирующихся на массопереносе путем молекулярной диффузии через поверхность растительного материала. При этом на поверхности сырья, имеющем пограничный слой, процесс осуществляется переносом вещества через поры растительного материала. Скорость массопереноса зависит от толщины данного слоя и определяется движением клеевой полимерной массы, характеризуемой коэффициентом диффузии и вязкостью связующего [1-4].

Диффузия молекул пропитывающего клеевого вещества в капиллярной системе растительного сырья протекает значительно медленнее, чем в свободном растворе, так как лишь часть ее поперечного сечения заполнена жидкостью и движущиеся частицы вынуждены преодолевать дополнительные сопротивления при прохождении через мембраны пор. Кроме того, клетки, содержащие лигнин, закупоривают доступ связующего, поэтому для ускорения диффузионного процесса растительное сырьё должно измельчаться, что увеличивает удельную поверхность частиц заполнителя [1-4].

Таким образом, для активного диффузионного взаимодействия в растительном сырье необходимо учитывать структуру и свойства исходных материалов, а также условия технологических процессов.

Материалы и методы исследований. При проведении экспериментальных исследований в качестве основных исходных компонентов использовались: древесно-растительные заполнители - костра льна, древесные опилки, щепы, солома, древесная мука и др., а также полимерные отходы, преимущественно пенополистирол, применяемый в качестве модифицированного связующего. Для модификации поверхности пенополистирольных гранул был использован диметилкетон, разбавленный водой, что позволило получать клеящую поверхность на гранулах ППС без их деформирования [5-6].

Механизм процесса молекулярной диффузии в конденсированных средах описывается на основе молекулярно-кинетических представлений об элементарном акте трансляционного перемещения диффундирующей молекулы [1, 3, 7-9]. В настоящее время общепринятой точкой зрения является вакансионный (дырочный) механизм диффузии. Согласно которой, для осуществления элементарного акта диффузии необходимо наличие «дырки» соответствующего размера вблизи диффундирующей молекулы. В рамках вакансионного механизма существуют два равноправных подхода: модель активированной диффузии модель свободного объема. Согласно первому подходу для осуществления элементарного акта диффузии, диффундирующая молекула должна преодолеть энергетический барьер величиной E , называемой энергией активации диффузии. Величина E складывается из энергии образования вакансии (E_1) и энергии диссоциации межмолекулярных связей ближайшего окружения диффундирующей молекулы (E_2)

$$E = E_1 + E_2 \quad (1)$$

Существует и ряд других зависимостей для E и D_0 , но все эти зависимости имеют общие недостатки: выражения достаточно сложны, а входящие в них параметры имеют неопределенное значение [1-4, 7-9].

В рамках модели активированной диффузии основные условия исследователей сосредоточены на экспериментальном определении E и D_0 для различных систем и построении корреляционных зависимостей: от размера молекул, их массы, формы, а



также от макроскопических характеристик диффузионной среды: степени кристалличности, надмолекулярной структуры полимера молекулярной массы полимерных молекул, их молекулярно-массового распределения [1-4, 7-9].

В основе модели свободного объема лежит положение о том, что появление вакансии вблизи диффундирующей молекулы не связано с энергетическими затратами, а является следствием флуктуации свободного объема, присущего каждой конденсированной среде.

$$D^* = A \exp \left(-\gamma \frac{V_{kp}}{V_{св}} \right), \quad (5)$$

где A , γ – постоянные величины; V_{kp} – критический объем вакансии, необходимый для осуществления элементарного акта диффузии.

При этом свободный объем среды при постоянной температуре ($V_{св, T}$) есть

$$V_{св, T} = V_{n, T} - V_{o, T}, \quad (6)$$

где $V_{n, T}$ – действительный объем среды; $V_{o, T}$ – занятый объем среды.

$$D^* \approx A \exp \left(-\frac{B}{f} \right), \quad (7)$$

$$\text{где } B = \gamma \frac{V_{kp, T}}{V_{св, T}}; \quad (8)$$

f – доля свободного объема

$$f = \frac{V_{n, T} - V_{o, T}}{V_{o, T}}. \quad (9)$$

Так значения A и B неизвестны, то вводится стандартное состояние среды (S). Тогда,

$$D_s^* \approx A \exp \left(-\frac{B}{f_s} \right). \quad (10)$$

В предположении, что A и B при переходе от системы к системе не меняются незначительно, имеем:

$$1n \frac{D^*}{D_s^*} = B \left(\frac{1}{f_s} - \frac{1}{f} \right). \quad (11)$$

Для описаний макроскопических диффузионных процессов (десорбция, сорбция для плёночных материалов, проницаемость мембран) используют второе уравнение Фика для одномерной диффузии

$$\frac{\partial C(X, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C(X, t)}{\partial X^2}, \quad (12)$$

где C – концентрация диффундирующего вещества;

D – коэффициент диффузии;

X и t – соответственно координата и время.

Диффузионные процессы в растительном сырье имеют свои особенности в силу разнородности

химического и минерального состава, а также наличие пористой структуры межклеточного пространства и капиллярных ходов, что способствует снижению скорости диффузии. Коэффициент диффузии тех или иных веществ в растительном сырье зависит от его влажности, температуры и вязкости клеящего вещества, а также от размера диффундирующих молекул. Для большинства клеевых составов коэффициент диффузии D_0 может быть рассчитан теоретически по известному уравнению Эйнштейна [1, 3, 7-9]:

$$D_0 = \frac{R_g T}{N} \cdot \frac{1}{6\pi\mu r_0}, \quad (13)$$

где R_g – универсальная газовая постоянная [8,31 10^7 Дж/(моль·К)];

T – абсолютная температура,

K ; N – число Авогадро ($6,023 \cdot 10^{23}$ 1/моль);

μ – вязкость растворителя, кг/(м·с);

r_0 – радиус диффундирующих молекул, м.

Значения коэффициента μ для различных веществ приведены в справочной литературе.

Экспериментальные исследования и обработка полученных результатов. Ранее авторами была разработана технология получения теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов и изделий на основе древесно-растительных и пенополистирольных отходов и получены изделия в виде плит и гранулированный наполнитель из вторичного сырья. Составы обладают достаточной прочностью на сжатие и при изгибе, низкой плотностью и высокими показателями теплопроводности в пределах 0,035-0,135 Вт/(м·°C) [5-6, 10].

Содержание лигнина в органическом сырье растительного происхождения различно, но для большинства видов находится в пределах от 20 до 40% (рис. 1). Пористая структура древесно-растительных наполнителей, способствует проявлению адгезии связующего при формировании структуры композитов [4]. Коэффициент диффузии зависит от вязкости и концентрации клеевых компонентов. Зависимость коэффициента диффузии проявляется при взаимодействии молекул диффузанта с диффузионной средой (кластеро-образование) [3].

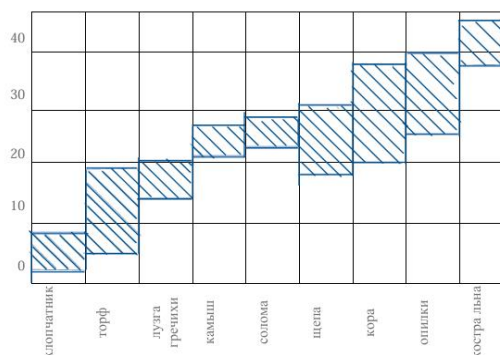


Рис. 1. Содержанию лигнина в растительном органическом сырье

Используя формулу (13), и произведя вычисление коэффициентов диффузии различных составов, нами получены следующие осреднённые результаты.

Коэффициент диффузии D , учитывающий перенос клеевого состава в растительное сырьё в продольном направлении относительно волокон равен $(0,5-1,1) \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$; в поперечном направлении относительно волокон равен $(0,3-0,7) \cdot 10^{-13} \text{ м}^2/\text{с}$. При этом, отмечено, что увеличение процентного содержания лигнина в растительном сырье приводит к снижению значений коэффициента диффузии, и при 35-40% лигнина имеют минимальные показатели. Этот факт объясняется закрытием пористой структуры растительного заполнителя лигнином, что приводит к меньшему пропусканию клеевой массы в объем растительных частиц. Данное обстоятельство хорошо коррелирует с показателями клеящей способности модифицированного пенополистирола и различной степенью растворения диметилкетона водой, приведенными на рис. 2.

Анализ полученных кривых свидетельствует о различной клеящей способности модифицированного пенополистирола. Так, при соотношении диметилкетона с водой 50 : 50 (мас.ч.) для всех видов органического сырья отмечены самые низкие значения проявляемой клеящей способности, не превышающие 20-25% от максимального уровня.

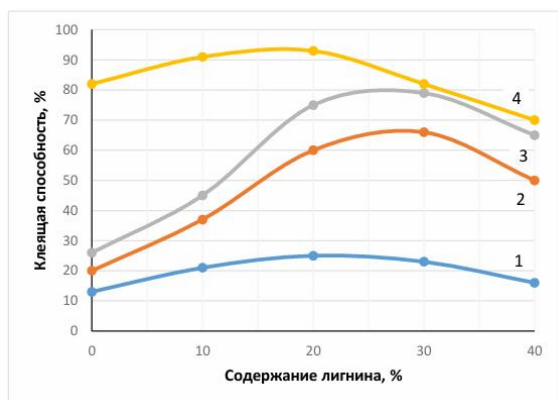


Рис. 2. Зависимость клеящей способности модифицированного пенополистирола от содержания лигнина в древесно-растительном сырье при соотношении диметилкетона с водой (мас.ч.):
1 – 50:50; 2 – 63:37; 3 – 75:25; 4 – 87:13.

При соотношении диметилкетона с водой - 65-80 к 20-35 (мас.ч.) создаются благоприятные условия для повышения прочности клеевого соединения до 70-80% от максимального уровня. Это отражается и на коэффициентах диффузии данных составов, имеющих самые высокие значения - $(0,8-1,0) \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ для продольного направления волокон и $(0,6-0,7) \cdot 10^{-13} \text{ м}^2/\text{с}$ в поперечном направлении.

При минимальном содержании воды (10-15 мас.ч.) в полученной клеевой композиции с диметилкетона, хотя и отмечаются повышенные показатели прочности клеевого шва, однако жизнеспособность такой клеевой массы, имеющей к тому же высокую вязкость системы, составляет всего несколько минут и состав не успевает проникнуть в пористую структуру растительного заполнителя. Это приводит к снижению контактной зоны клеевой массы с органическим заполнителем, уменьшению коэффициента диффузии и, как следствие, к низкой клеевой способности модифицированного пенополистирольного связующего в композите.

Таким образом, рациональным с точки зрения обеспечения технологического процесса получения качественных композиционных материалов с достаточной прочностью и формоустойчивостью следует считать использование соотношения диметилкетона к воде - 65-80 : 20-35 (мас.ч.).

Кластеры макроразмеров образуются при смешивании модифицированного диметилкетона полистирольных гранул с поликомпонентным растительным заполнителем, вследствие эффективного сближения частиц, сначала до касания, а затем до перекрытия граничных слоев. При этом зона перекрытия, зависит от глубины (интенсивности) клеящей оболочки модифицированных гранул [11-14].

При контакте связующего происходит взаимопроникание и сращивание макро-кластеров с центрами в виде модифицированных гранул пенополистирола, что подтверждается микроструктурным анализом с неагрегированными лигносодержащими частицами сырья. Таким образом, происходит образование бесконечных кластеров с неаддитивным упрочнением структуры (рис. 3).

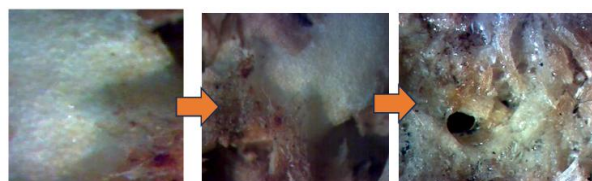


Рис. 3. Микрофотографии образования макро-кластера:
а) модифицированная гранула пенополистирола;
б) перекрытие граничных слоев в зоне взаимодействия клеящей оболочки полистирольной гранулы с частицами заполнителя; в) контактная зона замкнуто-разветвлённого макро-кластера

Важным фактором, определяющим приемлемость предлагаемой технологии, является время твердения растительно-полимерного композита до получения распалубочной прочности. Результаты исследования этих показателей представлены на рис. 4, из которого следует, что минимальное время для отвердевания формируемого композита требуется для композиций, использующих клеевую массу модифи-



цированного пенополистирола с минимальным содержанием воды – 10-15 мас.ч. Максимальное время до расформования находится в пределах 5-5,5 часов, что с учетом подготовки формуемой массы, приготовлением форм и растительно-полимерной смеси, а также непосредственно формования изделий будет соответствовать дневной рабочей смене. Для сравнения на графике представлена кривая 1 (рис. 4) с контрольным составом без модифицирования гранул пенополистирола с длительностью технологического процесса до распалубливания в три-пять раз больше в сравнении с предлагаемым способом получения растительно-полимерных композитов.

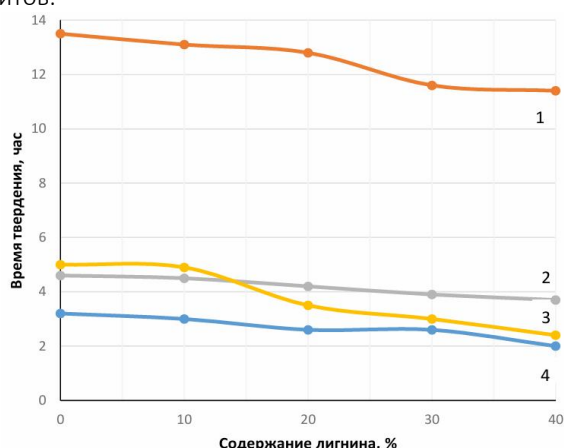


Рис. 4. Зависимость времени твердения от содержания лигнина в древесно-растительном сырье, при соотношении диметилкетона с водой (мас.ч.): 1 – контрольный образец, без модифицированного пенополистирола; 2 – 63:37; 3 – 75:25; 4 – 87:13

Параллельно с отработкой технологического процесса формования теплоизоляционных плит были проведены исследования по ускорению твердения нового композита и оптимизации данной операции за счет термопрогрева отформованных изделий. На рисунке 5 представлены диаграммы изменения прочности изделий при сжатии в зависимости от температуры прогреваемой массы. Показано, что повышение температуры прогреваемых изделий повышает скорость набора прочности и способствует быстрому твердению растительно-полимерных изделий. Так, при прогреве при 50°C в течение четырех часов прочность композита увеличивается в два с половиной раза. При этом отмечено снижение вязкости клеевой массы на модифицированных пенополистирольных гранулах, что приводит к увеличению показателя коэффициента диффузии на 20-25%.

Прогрев при 70°C в течение такого же времени приводит к повышению прочности в пять-шесть раз. Увеличение продолжительности термопрогрева также приводит к повышению прочностных показателей, однако в этом случае необходимо учитывать энергозатраты на интенсификацию техно-

логического процесса и целесообразность проводимых мероприятий по экономическим соображениям, так как при комнатной температуре также наблюдается постоянный рост прочности без дополнительных затрат.

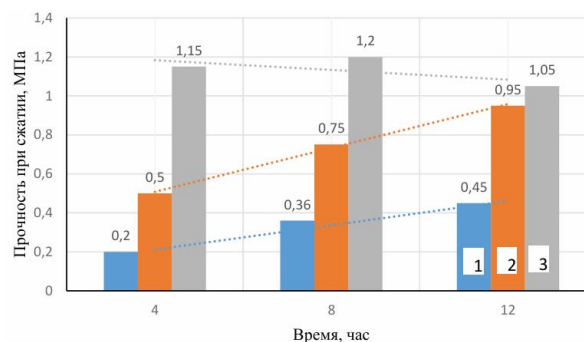


Рис. 5. Влияние термопрогрева на прочность растительно-полимерного композита: 1 – 20°C; 2 – 50°C; 3 – 70°C

Заключение. Таким образом, полученные результаты экспериментальной информации по значениям коэффициентов диффузии клеевой массы на модифицированных пенополистирольных гранулах при изготовлении растительно-полимерных композитов свидетельствуют о многофакторной системе данных конгломератов. Особая роль в производстве таких изделий отводится модифицированию пенополистирольных гранул диметилкетона с водой, для которых соотношение 65-80 : 20-35(мас.ч.) создают благоприятные условия по обеспечению прочности клеевого соединения и в целом всего конгломерата. Данные соотношения подтверждаются высокой клеящей способностью, достигающей 70-80% от максимального уровня, хорошей формостабильностью и другими эксплуатационными характеристиками, о чем свидетельствуют стабильно повышенные показатели коэффициента диффузии - $(0,8-1,0) \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ для продольного направления волокон и $(0,6-0,7) \cdot 10^{-13} \text{ м}^2/\text{с}$ в поперечном направлении. При этом полученные результаты позволили обоснованно выбрать оптимальные технологические режимы формования изделий из растительно-полимерной смеси с модифицированными пенополистирольными гранулами. На основе древесно-растительных и пенополистирольных наполнителей получены составы теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов плотностью 250-600 кг/м³, теплопроводностью 0,035-0,135 Вт/(м°C), прочностью на сжатие до 2,8-4,5 МПа, прочностью при изгибе до 1,5-2 МПа.

Библиографический список

1. Москвитин Н.И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания. - М.: Лесная промышленность, 1964. – 248 с.



2. Соломатов В. И. Синергетика композиционных материалов. – Липецк: НПО «Ориус», 1994. – 153 с.
3. Дерягин, Б.В. Кинетика диффузии в порах. – М.: Химия, 1969. – 207 с.
4. Глазков С.С. Адсорбционные процессы в условиях изотермической пропитки древесины растворами олигомеров // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2008, Том 8. Вып. 3. – С.454 - 464.
5. Способ получения легкого гранулированного материала / Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е. // Патент на изобретение RU 2790089 C1, 14.02.2023. Заявка № 2021135082 от 29.11.2021.
6. Способ получения легкого гранулированного заполнителя / Пичугин А.П., Смирнова О.Е., Хританков В.Ф., Ткаченко С.Е. // Патент на изобретение RU 2809409 C1, 11.12.2023. Заявка № 2022131879 от 06.12.2022.
7. Бачинский В.В., Загорченко Ю.О. Современные представления о диффузионных процессах в полимерных материалах // Материалы Междунар. научно-техн. конф. №20. – Одесса, – 2005. – С.33-39.
8. Сазанов Ю.Н. Лигнин-полимерные композиты // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2014. № 5(341). С. 153-172. EDN: SWKEEL
9. Чернов В.Ю., Шарапов Е.С., Мальцева Е.М., Пегушина Е.Н. Исследование влияния термической модификации древесины на адгезионные и прочностные свойства древесно-цементной композиции // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1394–1407. EDN: EILILM. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.9.1394-1407>
10. Pichugin, A., Pchel'nikov, A., Smirnova, O., Tkachenko, S. Influence of Surface Tension Forces of Modifiers on Some Properties of Composite Materials // Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. ICCATS 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, 2023. Vol 308. Springer, Cham. EDN: IWS-GGS. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21120-1_26
11. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Селяв В.П. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. – Ташкент: Изд-во "Фан" АН Республики Узбекистан, 1991. 345 с. EDN: RXBAPD.
12. Кузнецов В. П., Баумгартен М. И. Адгезия в кле-евом соединении: адгезия с позиции теории прочности // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. № 4 (104). С. 97-102. EDN: SJFWKF
13. Смирнова О.Е., Пичугин А.П., Хританков В.Ф. Ад-гезионная прочность в структуре композиционных матери-алов на основе органического сырья // Строительные ма-териалы. 2024. № 5. С. 17-21. EDN: ISJUJZ. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-824-5-17-21>
14. Глазков С.С. Сорбционные процессы с периодическим изменением полярности целлюлозосо-держательной поверхности композитов // Сорбционные и хро-матографические процессы. – 2009, Том 9. Выпуск 2. – С.233- 238.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 05.08.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 05.08.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.



Научная статья

УДК 69.04

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

BAK: 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения; 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2025_3_40

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОМБИНАЦИЯХ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК

© Авторы 2025

SPIN: 5909-7100

СОКОЛОВ Сергей Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений
Тверской государственный технический университет
(Россия, Тверь, e-mail: sokolov_project@mail.ru)

SPIN: 5254-3848

БЕЛОВ Владимир Владимирович

доктор технических наук, заведующий кафедрой производства строительных
изделий и конструкций
Тверской государственный технический университет
(Россия, Тверь)

SPIN: 9347-7926

КУЛЯЕВ Павел Викторович

кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений
Тверской государственный технический университет
(Россия, Тверь)

SPIN: 7431- 8742

БАРКАЯ Темур Рауфович

кандидат технических наук, заведующий кафедрой конструкций и сооружений
Тверской государственный технический университет
(Россия, Тверь)

Аннотация. В настоящее время круговые цилиндрические оболочки довольно широко используются в строительной практике. Как правило, на подобные конструкции воздействуют различные комбинации внешних нагрузок. Вследствие чего в них возникает сложное напряженное состояние. Особенно важным при исследовании конструкций данного типа является вопрос устойчивости, т.к. при таких видах воздействия, как сжатие, кручение и внешнее либо внутренне давление данный вопрос является определяющим по сравнению с вопросом прочности. Проводится экспериментальное исследование устойчивости круговых цилиндрических оболочек из стали 40Х при пропорциональном до критическом нагружении осевой сжимающей силой, крутящим моментом и внутренним давлением в девиаторном пространстве деформаций А.А. Ильюшина Э⁽³⁾. В результате исследования получены критические параметры напряжений и деформаций, а также области устойчивых состояний оболочек в координатных плоскостях девиаторного пространства деформаций А.А. Ильюшина Э⁽³⁾. Экспериментальные исследования в данном вопросе имеют огромную важность, т.к. позволяют давать экспериментальное обоснование теоретическим исследованиям в данной области научных изысканий.

Ключевые слова: пластичность; устойчивость; сжатие; кручение; внутреннее давление; пропорциональное нагружение; диаграмма; оболочка

Для цитирования: Экспериментальное исследование устойчивости круговых цилиндрических оболочек при различных комбинациях внешних нагрузок / С.А. Соколов, В.В. Белов, П.В. Куляев, Т.Р. Баркая // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 40-46. doi:10.51608/26867818_2025_3_40.

Original article

EXPERIMENTAL STUDY OF THE STABILITY OF CIRCULAR CYLINDRICAL SHELLS UNDER VARIOUS COMBINATIONS OF EXTERNAL LOADS

© The Author(s) 2025

SOKOLOV Sergey Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department
Tver State Technical University
(Russia, Tver, e-mail: sokolov_project@mail.ru)

BELOV Vladimir Vladimirovich

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department
Tver State Technical University



(Russia, Tver)

KULIAEV Pavel Viktorovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department
Tver State Technical University

(Russia, Tver)

BARKAYA Temur Raufovich

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department
Tver State Technical University

(Russia, Tver)

Abstract. Currently, circular cylindrical shells are quite widely used in construction practice. As a rule, such structures are affected by various combinations of external loads. As a result, a complex state of tension arises in them. Especially important in the study of structures of this type is the issue of stability because under such types of impact as compression, torsion, and external or internal pressure, this issue is crucial compared to the issue of strength. An experimental study of the stability of circular cylindrical shells made of 40X steel under proportional subcritical loading by axial compressive force, torque, and internal pressure in the deviatoric deformation space of A.A. Ilyushin $\Xi^{(3)}$ is carried out. As a result of the study, critical parameters of stresses and deformations, as well as regions of stable shell states in the coordinate planes of A.A. Ilyushin's deviatoric deformation space $\Xi^{(3)}$, were obtained. Experimental research on this issue is of great importance because it allows us to provide experimental justification for theoretical research in this field of scientific research.

Keywords: plasticity; stability; compression; torsion; internal pressure; proportional loading; diagram; shell

For citation: Experimental study of the stability of circular cylindrical shells under various combinations of external loads / S.A. Sokolov, V.V. Belov, P.V. Kuliaev, T.R. Barkaya // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 40-46. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_40.

Введение. В строительной практике довольно часто применяются конструкции, имеющие форму круговой цилиндрической оболочки [1], к ним относятся стальные трубопроводы различных способов прокладки, как надземной, так и подземной, вертикальные стальные элементы зданий и сооружений и многие другие.

Для создания оптимальной внутренней функциональной структуры строительного объекта, к которым относятся круговые цилиндрические оболочки, необходимо проводить структурно-функциональный анализ и синтез. При этом данная структура должна соответствовать ранее разработанной внешней структурно-функциональной модели новой технической системы (ТС). По сравнению с внешней структурой внутренняя функциональная структура более специфична для будущего внедрения и ориентирована на использование реальных компонентов системы.

Компонентный синтез основан на построенной внутренней структурно-функциональной модели нового ТС. Во время синтеза компонентов происходят следующие процессы:

1. Поиск и подбор компонентов системы. Каждый компонент может выполнять одну или более функций внутренней структуры будущего строительного объекта.

2. Проверка совместимости характеристик реальных компонентов системы в их совместной работе.

3. Оценка характеристик выбранных компонентов системы по различным заявленным показателям

(например, химический состав и физико-механические свойства сталей для изготовления оболочек и т.п.).

4. Моделирование или макет нового продукта как системы, выявление и исправление ошибок в предварительном синтезе компонентов.

Как показывает практика, круговые цилиндрические оболочки могут работать под воздействием различных видов нагружения, таких как простое растяжение-сжатие, изгиб, внешнее и внутреннее давление и так далее [2]. Однако в общем случае все эти внешние воздействия можно разложить на комбинацию простейших видов напряженного состояния, таких как простое растяжение (сжатие) и чистый сдвиг, которые в комбинации образуют плоское напряженное состояние [3]. Вопросы прочности при плоском напряженном состоянии довольно хорошо изучены. Процесс перехода материала из упругого состояния в пластическое, описывается различными теориями пластичности. Наиболее хорошо себя зарекомендовавшей на практике является энергетическая теория Генки-Хубера-Мизеса [4]. Однако при действии на

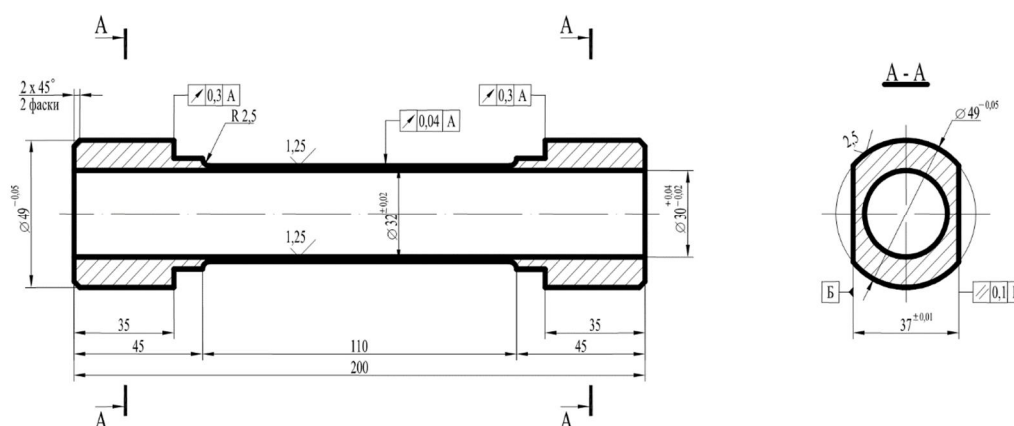


Рис. 1. Образец для испытания на устойчивость

круговую цилиндрическую оболочку сжимающих и касательных напряжений разрушение конструкции происходит, как правило, не от исчерпания несущей способности, а от потери устойчивости [5]. Поэтому в данной работе рассматривается вопрос потери устойчивости круговых цилиндрических оболочек при воздействии на них сжатия, кручения и внутреннего давления.

Методология. Объектом исследования является круговая цилиндрическая оболочка, выполненная из стали 40X со следующими геометрическими параметрами.

Эксперименты проводились в лаборатории кафедры Сопротивление материалов теории упругости и пластичности на комплексе СН-ЭВМ [6] в Тверском Государственном Техническом Университете. Марка стали подтверждалась определением её химического состава на базе лаборатории Тверского вагоностроительного завода на оборудовании Foundry Master 01N0076 (Optik 01N0077). Результаты анализа представлены в таблице 1 [7-8].

Таблица 1 – Химический состав материала образцов

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
97.1	0.374	0.153	0.721	0.0173	0.0266	0.924	0.0251
Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
0.197	0.0033	0.0027	0.175	0.0153	0.0042	0.0191	0.0455
Pb	Sn	B	Ca	Zr	As	Bi	
0.0873	0.002	0.0139	0.0007	0.0298	0.0535	0.09	

На комплексе СН-ЭВМ можно выполнять эксперименты, как в векторном пространстве напряжений, так и в векторном пространстве деформаций А.А. Ильюшина. В данном случае эксперимент проводился в векторном пространстве деформаций $\mathcal{E}^{(3)}$ [8]. Параметрами отслеживания процесса деформирования во всех случаях являлись углы наклона траектории пропорционального деформирования a_1 и a_2 в векторном пространстве $\mathcal{E}^{(3)}$. Схема траектории показана на рисунке 2 [9].

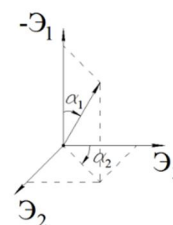


Рис. 2. Ориентация траекторий нагружения

Всего было испытано 9 образцов геометрические параметры которых включая параметры отслеживания траектории приведены в таблице 2.

Таблица 2

№ образца	$R \cdot 10^3$, м	$h \cdot 10^3$, м	R/h	a_1	a_2	Вид траектории
1	15.55	1.01	15.396	0	0	Сжатие
2	15.51	1.02	15.206	0	0	Сжатие
3	15.525	1.025	15.146	45	0	Сжатие + Кручение
4	15.501	0.995	15.579	90	0	Кручение
5	15.525	1.025	15.146	30	90	Сжатие + Внутреннее давление
6	15.525	1.025	15.146	90	25	Кручение + Внутреннее давление
7	15.501	0.99	15.579	180	0	Растяжение
8	15.55	1.023	15.2	22	0	Сжатие + Кручение
9	15.56	1.023	15.21	68	0	Сжатие + Кручение

Для проверки начальной изотропии материала выполнено сопоставление диаграмм деформирования $s = \Phi(\mathcal{E})$ при простых процессах нагружения: сжатие, кручение, растяжение и процессы пропорционального нагружения. На рисунке 3 представлен график с совмещенными диаграммами деформирования круговых цилиндрических оболочек из стали 40X при простых и пропорциональных процессах нагружения. Цифровые обозначения соответствуют: 1 – диаграмма растяжения, 2 – сжатия, 3 – пропорци-



ональный процесс сжатия с кручением, 4 – кручение, 5 – пропорциональный процесс сжатия с внутренним давлением, 6 – пропорциональный процесс кручение с внутренним давлением. Крестиками на диаграмме обозначены точки потери устойчивости.

рис. 4, 5. Красным кружочком на диаграммах показаны точки потери устойчивости.

Для пропорциональных процессов докритического нагружения за точку потери устойчивости принималась точка излома траектории на обоих или

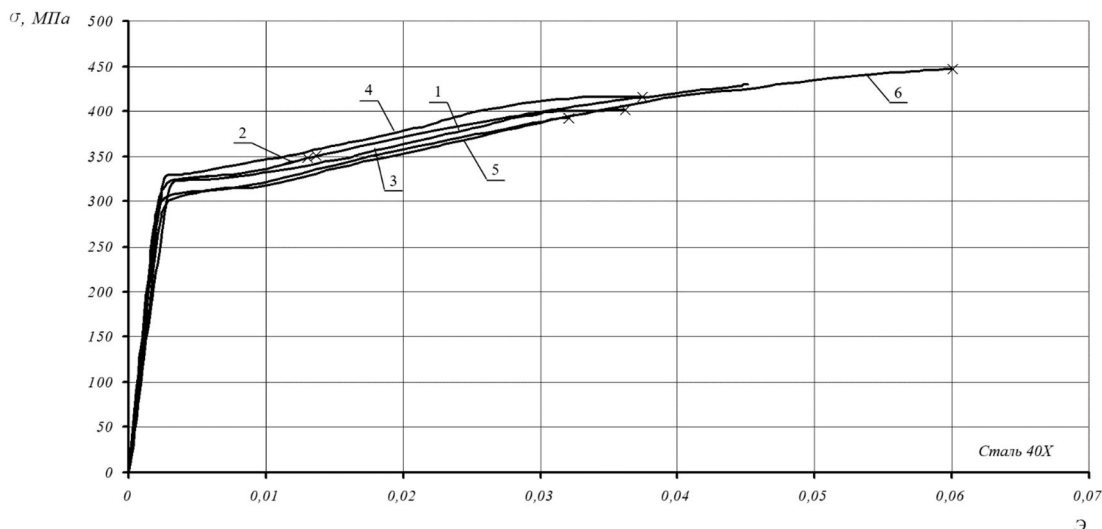


Рис. 3. Наложенная диаграмма деформирования

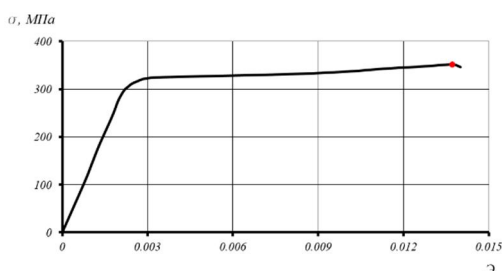


Рис. 4. Глобальная диаграмма деформирования образец №1 (сжатие)

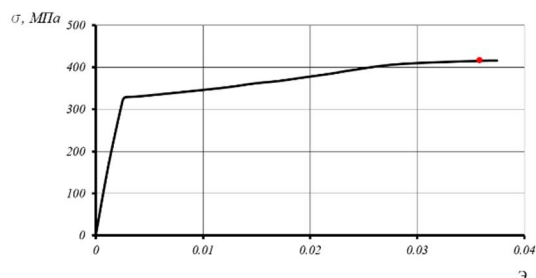


Рис. 5. Глобальная диаграмма деформирования образец №4 (кручение)

Из рисунка 3 видно, что материал из которого изготовлены образцы для испытаний можно считать условно изотропным, т.к. при развитых пластических деформациях разброс величин модуля вектора напряжений не превышает 10% [10-11].

Результаты. Очень важным вопросом при исследовании устойчивости круговых цилиндрических оболочек является определение момента самой потери устойчивости, т.к. выпучина на поверхности оболочки, на ранней стадии может довольно плохо визуализироваться, а величина вектора напряжений на диаграмме деформирования при этом может продолжать увеличиваться. Особенно это характерно для пропорциональных и сложных процессов до критического нагружения [12-13]. В данной работе для простых не пропорциональных процессов нагружения за точку потери устойчивости принималась точка с максимальным значением вектора напряжений на глобальной диаграмме деформирования

хотя бы на одной из локальных диаграмм деформирования, при этом на глобальной диаграмме деформирования этот излом может отсутствовать. В качестве примера на рисунках 6 – 8 представлены глобальная и локальные диаграммы для пропорционального процесса сжатие с кручением (образец №3), а на рисунках 9 – 11 для процесса сжатие с внутренним давлением (образец №5).

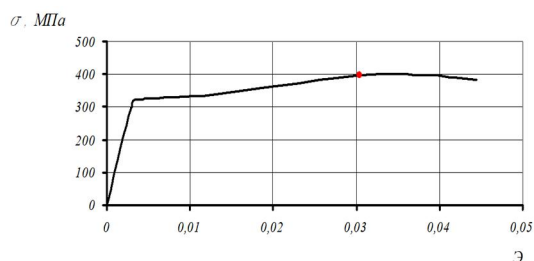


Рис. 6. Глобальная диаграмма деформирования образец №3 (сжатие с кручением)

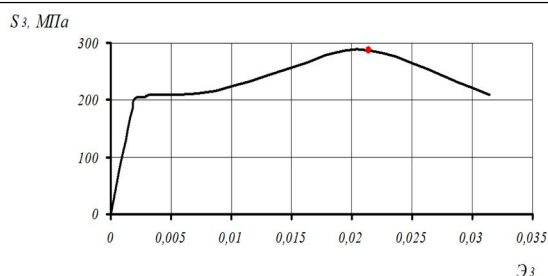


Рис. 7. Локальная диаграмма деформирования образец №3 (сжатие с кручением)

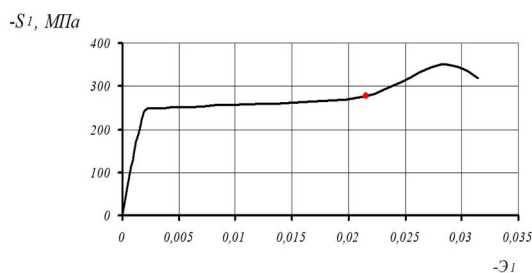


Рис. 8. Локальная диаграмма деформирования образец №3 (сжатие с кручением)

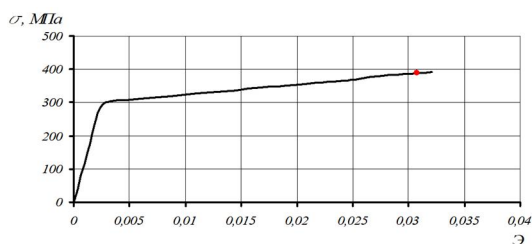


Рис. 9. Глобальная диаграмма деформирования образец №5 (сжатие с внутренним давлением)

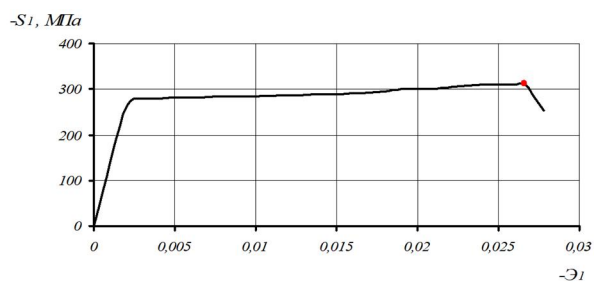


Рис. 10. Локальная диаграмма деформирования образец №5 (сжатие с внутренним давлением)

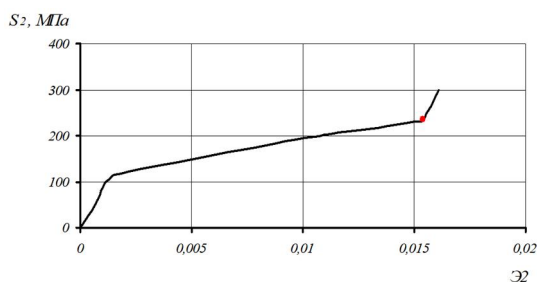


Рис. 11. Локальная диаграмма деформирования образец №5 (сжатие с внутренним давлением)

На основании проведенных экспериментов были получены критические параметры напряжений и деформаций, которые были сведены в таблицу 3.

Таблица 3

№ образца	s , МПа	ε	ε_1	ε_2	ε_3	S_1 , МПа	S_2 , МПа	S_3 , МПа
1	348.9	0.01304	-0.01304	0	0	-348.9	0	0
2	351.3	0.01372	-0.01372	0	0	-351.3	0	0
3	398.6	0.03038	-0.02151	0	0.02146	-277.5	0	286.2
4	415.8	0.03583	0	0	0.03583	0	0	415.8
5	390.3	0.03075	-0.0266	0.01542	0	-311.2	235.5	0
6	449.3	0.05828	0	0.02466	0.0528	17.2	196.2	404
7	-	-	-	-	-	-	-	-
8	349.9	0.0184	-0.0156	0	0.0062	313.3	0	155.6
9	385.7	0.0335	-0.0125	0	0.0309	-166.8	0	351.8

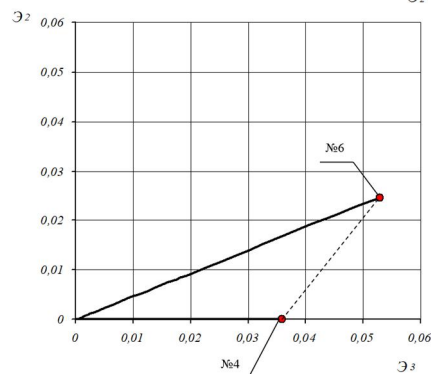
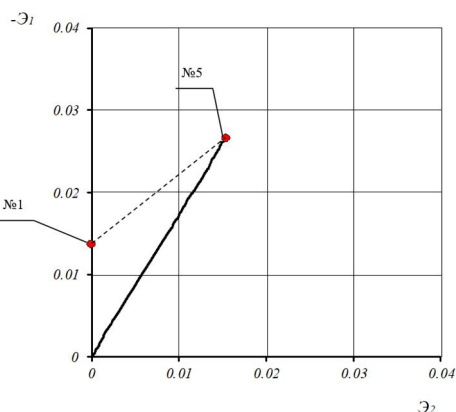
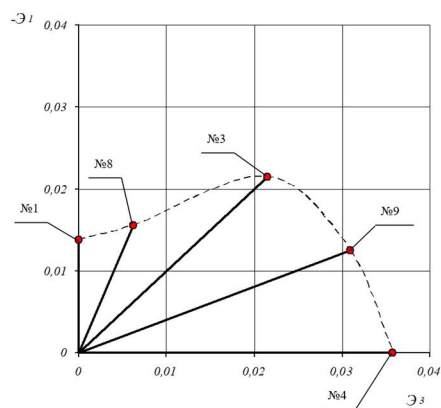


Рис. 12. Области устойчивых состояний



Кроме этого были построены области устойчивых состояний в координатных плоскостях пространства деформаций А.А. Ильюшина $\mathcal{E}^{(3)}$, которые показаны на рисунке 12.

Обсуждение. Из полученных результатов следует, что момент потери устойчивости оболочек характеризуется изломом процесса деформирования на всех, или, по крайней мере, одной из локальных диаграмм. Это подтверждает полученный ранее аналогичный вывод, о процессе потери устойчивости тонких прямоугольных пластин [14].

Зона в окрестности координатной оси $\mathcal{E}_2$ остаётся разомкнутой, что позволяет предположить о возможности существования такого уровня интенсивности внутреннего давления, при превышении которого потеря устойчивости цилиндрических оболочек невозможна при любом пропорциональном комбинированном нагружении, что подтверждает сделанный ранее в работе [15] аналогичный вывод для круговых цилиндрических оболочек, изготовленных из стали 45.

Однако точно оценить уровень интенсивности внутреннего давления, при котором потеря устойчивости цилиндрических оболочек не происходит, на настоящий момент не представляется возможным из-за ограничений, накладываемых силовыми устройствами комплекса СН-ЭВМ.

Из рисунка 12 видно, что критические параметры напряжений для процессов в плоскости $-\mathcal{E}_1-\mathcal{E}_2$ увеличились на 10%, а критические параметры деформаций на 125% по сравнению с чистым сжатием (увеличение происходило с ростом интенсивности внутреннего давления); для процессов в плоскости $-\mathcal{E}_1-\mathcal{E}_3$ критические параметры напряжений увеличились на 20%, а деформаций на 160% по сравнению с чистым сжатием (увеличение происходило с ростом интенсивности кручения). Максимальные критические параметры деформаций и напряжений наблюдаются при реализации процесса пропорционального нагружения в координатной плоскости $\mathcal{E}_3-\mathcal{E}_2$ при этом критические параметры напряжений увеличились на 10% по отношению к чистому кручению и на 30% по отношению к чистому сжатию, а критические параметры деформаций на 60% по отношению к чистому кручению и на 325% по отношению к чистому сжатию. Данные результаты качественно подтверждают результаты, полученные в работе [15] для стали 45, однако количественный разброс между критическими параметрами напряжений и деформаций при процессах реализованных в различных плоскостях девиаторного пространства деформаций для стали 45 не столь значителен.

Выводы

Из полученных результатов следует, что момент потери устойчивости оболочек характеризуется изломом процесса деформирования на всех, или, по

крайней мере, одной из локальных диаграмм деформирования.

Из полученных данных следует, что при реализации пропорциональных процессов нагружения поверхности устойчивых состояний оболочек в координатных плоскостях девиаторного пространства деформаций А.А. Ильюшина имеют выпуклый характер.

Зона в окрестности координатной оси $\mathcal{E}_2$ остаётся разомкнутой, что позволяет предположить о возможности существования такого уровня интенсивности внутреннего давления, при превышении которого потеря устойчивости цилиндрических оболочек невозможна при любом пропорциональном комбинированном нагружении.

Наименьшие критические параметры деформаций и напряжений наблюдаются при чистом сжатии. Кручение и внутреннее давление выступают поддерживающими факторами, что ведет к росту критических параметров напряжений и деформаций при потере устойчивости оболочек при пропорциональном комбинированном нагружении в девиаторных плоскостях деформаций $-\mathcal{E}_1-\mathcal{E}_2$ и $-\mathcal{E}_1-\mathcal{E}_3$.

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что ориентация процесса пропорционального нагружения в девиаторном пространстве деформаций А.А. Ильюшина $\mathcal{E}^{(3)}$ не существенно влияет на критические параметры напряжений до (30%) и серьезно влияет на критические параметры деформаций до (325%).

Для определения наиболее опасного вида нагружения для круговых цилиндрических при котором может происходить их потеря устойчивости необходимо провести дополнительные экспериментальные исследования на оболочках с аналогичными геометрическими параметрами, но уже в комбинации не с внутренним, а с внешним давлением. В настоящий момент технические возможности комплекса СН-ЭВМ этого сделать не позволяют.

Библиографический список

1. Вольмир, А.С. Устойчивость деформируемых систем. – М.: Наука, 1967. – 984 с.
2. Вольмир, А.С. Устойчивость упругих систем. – М.: Физматгиз, 1963. – 880 с.
3. Зубчанинов, В.Г. Основы теории упругости и пластичности. – М.: Высшая школа, 1990. – 368 с.
4. Критерии прочности и пластичности: учеб. пособие / И.Э. Келлер, Д.С. Петухов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2020. – 157 с.
5. Зубчанинов, В.Г. Экспериментальное исследование процесса потери устойчивости цилиндрических оболочек при осевом сжатии // Инж. журнал. – 1965. – 5, № 3. – С. 583–586.
6. Зубчанинов, В.Г. Экспериментальная пластичность: Монография. Книга 1. Процессы сложного деформирования / В.Г. Зубчанинов, Н.Л. Охлопков, В.В. Гараников. – Тверь: ТГТУ, 2003. – 172 с.



7. Черемных, С. В. Границы зон пластической догрузки и упругой разгрузки в решении задачи устойчивости круговой цилиндрической оболочки из стали 40Х / С. В. Черемных, П. О. Скудалов // Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование : сб науч. тр. Междунар. научно-техн. симпозиума «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А. Н. Косыгина» на Международном Косыгинском Форуме-2019 «Современные задачи инженерных наук», Москва, 29 октября – 01 2019 года. Том 2. – М.: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2019. – С. 190-194.
8. Черемных, С. В. Решение задачи устойчивости тонкостенных цилиндрических оболочек из стали 40Х при пропорциональных процессах нагружения / С. В. Черемных, В. И. Гуляев, С. А. Соколов // Проблемы прочности, пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела : Материалы IX Международного научного симпозиума, посвященного 90-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РФ профессора В.Г. Зубчанинова, Тверь, 16–17 декабря 2020 года / Под редакцией В.Г. Зубчанинова, А.А. Алексеева, В.И. Гуляева. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2021. – С. 104-108.
9. Охлопков Н.Л. Об устойчивости упругопластических оболочек при пропорциональных докритических процессах комбинированного нагружения / Н. Л. Охлопков, Ф. В. Нигматулин, С. А. Соколов, С. В. Черемных // Известия МГТУ МАМИ. – 2015. – Т. 4, № 1(23). – С. 64-69.
10. Зубчанинов, В.Г. Математическая теория пластичности: Монография. – Тверь: ТГТУ, 2002. – 300 с.
11. Зубчанинов, В.Г. Механика сплошных деформируемых сред. – Тверь: ТГТУ, ЧУДО, 2000. – 703 с.
12. Зубчанинов, В.Г. Устойчивость и пластичность. Т. 1. Устойчивость. – М.: Физматлит, 2007. – 448 с.
13. Черемных, С. В. Устойчивость упругопластических оболочек при сложных процессах комбинированного нагружения / С. В. Черемных, С. А. Соколов, В. И. Гуляев, А. А. Алексеев. – Тверь : Тверской государственный технический университет, 2021. – 160 с.
14. Зубчанинов, В.Г. Об угловых точках при упругопластическом выпучивании пластин / В.Г.Зубчанинов, В.В.Гараников, В.Н.Лотов // Тез. докл. XI Всесоюзн. конф. по теории оболочек и пластин. – М., 1977. – С. 47.
15. Джон, Ч. Экспериментальное исследование устойчивости круговых цилиндрических оболочек при сложном нагружении в пространстве деформаций / Ч.Джон, В.Г. Зубчанинов, Н.Л. Охлопков // Устойчивость и пластичность в механике деформируемого твердого тела: Материалы III симпозиума. Ч. III – Тверь: ТвГПИ, 1993. – С. 177–185.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 01.08.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 01.08.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.



Научная статья
УДК 666.3/7.001
ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура
БАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2025_3_47

ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

© Авторы 2025
SPIN-код: 7487-7522

Столбоушкин Андрей Юрьевич
доктор технических наук, профессор
Сибирский государственный индустриальный университет
(Россия, Новокузнецк, e-mail: stanyr@list.ru)

SPIN-код: 3946-0495

Матвеев Алексей Анатольевич
аспирант
Сибирский государственный индустриальный университет
(Россия, Новокузнецк, e-mail: maa1973@list.ru)

SPIN-код: 1395-0096

Фомина Оксана Андреевна
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
(Россия, Москва, e-mail: soa2@mail.ru)

Аннотация. Показана перспектива использования плавней в технологии строительной керамики для повышения прочности кирпича при использовании низкосортного глинистого и техногенного сырья. Приведены результаты исследования физико-механических свойств керамических образцов при добавке в шихту из глинистого сырья солей щелочных металлов.

Ключевые слова: пластичность; устойчивость; сжатие; кручение; внутреннее давление; пропорциональное нагружение; диаграмма; оболочка

Для цитирования: Столбоушкин А.Ю., Матвеев А.А., Фомина О.А. Влияние солей щелочных металлов на физико-механические свойства керамических образцов // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 47-52. doi:10.51608/26867818_2025_3_47.

Original article

INFLUENCE OF ALKALI METAL SALTS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CERAMIC SAMPLES

© The Author(s) 2025

STOLBOUSHKIN Andrey Yurievich
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department
Siberian State Industrial University
(Russia, Novokuznetsk, e-mail: stanyr@list.ru)

MATVEEV Alexey Anatolievich
Graduate student
Siberian State Industrial University
(Russia, Novokuznetsk, e-mail: maa1973@list.ru)

FOMINA Oksana Andreevna
Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow
Institute of Machines Science named after A.A. Blagonravov
of the Russian Academy of Sciences
(Russia, Moscow, e-mail: soa2@mail.ru)



Abstract. The prospect of using fluxes in the technology of building ceramics to increase the strength of bricks when using low-grade clay and technogenic raw materials is shown. The results of the study of the physical and mechanical properties of ceramic samples with the addition of alkali metal salts to the batch of clay raw materials are presented.

Keywords: ceramic sample; clay raw material; flux additive; alkali metal salts; sodium thiosulfate; borax; soda; potassium sodium carbonate

For citation: Stolboushkin A.Yu., Matveev A.A., Fomina O.A. Influence of alkali metal salts on physical and mechanical properties of ceramic samples // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 47-52. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_47.

Введение. Применение качественных строительных керамических изделий при возведении зданий и сооружений позволяет обеспечить долговременный срок эксплуатации объектов хозяйственной деятельности [1]. На качественные характеристики строительных керамических изделий оказывают влияние прочность, средняя плотность и водопоглощение керамического черепка [1,-2]. Важным технологическим процессом в производстве стеновых керамических изделий требуемого качества является спекание сырьевой массы [3-5].

На процессы спекания оказывает влияние множество различных факторов [4-7]. Наиболее важными из них являются температура, время изотермической выдержки, режим обжига, газовая среда печи и др. [3, 8]. Наряду с технологическими факторами большое значение имеет состав сырьевой массы [9-13]. Часто для увеличения количества и снижения температуры образования пиропластичной фазы при обжиге используют добавки-плавни [14-16]. На практике в качестве плавни используют тонкомолотые полевые шпаты, карбонатные породы (известняки, мергели, доломиты) и другие флюсующие добавки (перлит, тальк, пирофиллит и т. д.) [17]. По литературным источникам, плавнем при обжиге керамических масс могут служить и различные соединения солей щелочных металлов [18].

Применение добавок-плавней в технологии строительной керамики может обеспечить марочную прочность кирпича при использовании тощего низкосортного природного и техногенного керамического сырья без увеличения затрат на повышение температуры и продолжительности обжига изделий, что является важным и перспективным при проведении научных исследований в данном направлении.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании физико-механических свойств керамических образцов при добавке в шихту из глинистого сырья солей щелочных металлов: тиосульфата натрия, тетрабората натрия (буры), карбоната натрия (соды) и калия-натрия углекислого.

Материалы и методы. Оценка сырьевых материалов и испытание керамических образцов проводились по ГОСТ 21216-2014 «Сырье глинистое. Методы испытаний», ГОСТ 9169-2021 «Сырье глинистое для керамической промышленности. Классифика-

ция» и общепринятым методам, принятым в технологии керамических материалов [19-20].

В качестве природного глинистого сырья использовался суглинок калачевский (Прокопьевский район, Кемеровская область – Кузбасс).

По минеральному составу суглинок относится к группе гидрослюдисто-каолинистового сырья с преобладанием минералов группы иллита.

По химическому составу в соответствии с ГОСТ 9169-2021 в зависимости от содержания Al_2O_3 в прокаленном состоянии глинистое сырье относится к полукислой группе. В зависимости от содержания $(TiO_2 + Fe_2O_3)$ в прокаленном состоянии суглинок относится к группе с высоким содержанием красящих оксидов. При оценке сырья можно отметить высокое содержание свободного кварца.

По гранулометрическому составу суглинок относится к группе грубодисперсного сырья, с преобладанием кварцевых включений. В соответствии с ГОСТ 21216-2014 по содержанию глинистой фракции принадлежит к группе низкодисперсного глинистого сырья.

По керамико-технологическим свойствам суглинок калачевский относится к группе умеренно-пластичного сырья (число пластичности 10,9), имеет среднюю чувствительность к сушке и принадлежит к группе легкоплавкого сырья.

В соответствии с целью исследования в качестве добавок-плавней использовались соли щелочных металлов: тиосульфат натрия $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$; тетраборат натрия (бура) $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$; карбонат натрия (сода) Na_2CO_3 ; калий-натрий углекислый $K_2CO_3 - Na_2CO_3$. Добавки заводского изготовления имели марку ЧДА, находились в тонкодисперсном состоянии и дополнительной обработки не требовали.

Результаты и обсуждение. При планировании эксперимента с учетом литературных данных максимальное количество добавки-плавни составляло не более 5 % по массе.

Было приготовлено 3 серии образцов из двухкомпонентных составов керамических шихт с последовательным введением добавок, указанных выше. Основным материалом для исследования был определен суглинок (95-100 % по массе). В каждой серии готовились образцы четырех составов общим количеством 24 шт. (по 6 шт. каждого состава). Контроль-



ные образцы формовались полностью из глинистого сырья без добавки. Количество добавки в каждой серии последовательно изменялось: 1, 3 и 5 мас. %.

Массоподготовка глинистого сырья осуществлялась по сушильно-помольному способу. При этом глинистое сырье высушивалось в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 100-105 С. Высушенный суглинок подвергался двухстадийному помолу. Грубое дробление проводилось в лабораторной щековой дробилке, тонкое измельчение осуществлялось в двухкатковых бегунах. После просеивания через сито 1,25 порошок тщательно перемешивался с корректирующей добавкой для приготовления пресс-порошка.

Изготовление образцов осуществлялось по технологии полусухого прессования. Для этого приготовленная шихта увлажнялась водой до формовочной влажности 8-10 % и для выравнивания влажности порошок перетирался через сито с диаметром ячеек 1,2 мм. Далее из приготовленного пресс-порошка в лаборатории строительных материалов Сибирского государственного индустриального университета (СибГИУ) на гидравлическом прессе были отформованы образцы-цилиндры диаметром 20 мм и высотой 20-25 мм. Давление прессования 15 МПа, режим прессования односторонний с изобарической выдержкой под давлением 7-8 МПа в течение 10-15 сек для удаления воздуха из системы.

Формование на гидравлическом прессе выполнено с помощью вертикальной шести-гнездовой пресс-формы прямого прессования с цилиндриче-

ской конфигурацией стержней и одновременным изготовлением 6 образцов (рис. 1, а, б). Отпрессованные образцы-цилиндры сушились в сушильном шкафу и обжигались в муфельной печи по ступенчатому режиму при температуре 950 С с изотермической выдержкой 90 минут (рис. 1, в, г).

На образцах всех представленных серий после обжига можно отметить отсутствие внешних дефектов, изменений геометрической формы, трещин расслаивания, вспучивания и пережога (рис. 2, 3). Применение добавок тетрабората и карбоната натрия в количестве 3-5 мас. % (соответственно рис. 2, в и рис. 3, б) незначительно меняет окраску образцов по сравнению с контрольной серией. Цветовая гамма исследуемых образцов меняется от светлокрасного до темно-красного (рис. 2, в и рис. 3, б). Кроме того, добавка карбоната натрия (соды) приводит к образованию выпловок на поверхности образцов (рис. 3, б). Наличие капель стеклофазы размером до 1-1,2 мм наблюдается и в теле образцов этой серии, разрушенных при испытании на прочность.

Далее определялись физико-механические свойства керамических образцов каждой серии. Сравнение и анализ результатов проводились по пределу прочности при сжатии, средней плотности и водопоглощению образцов. Усредненные значения полученных результатов экспериментальных данных приведены в таблице.

Зависимости физико-механических свойств керамических образцов от вида и количества добавки-плавня представлены на рис. 4 и 5.

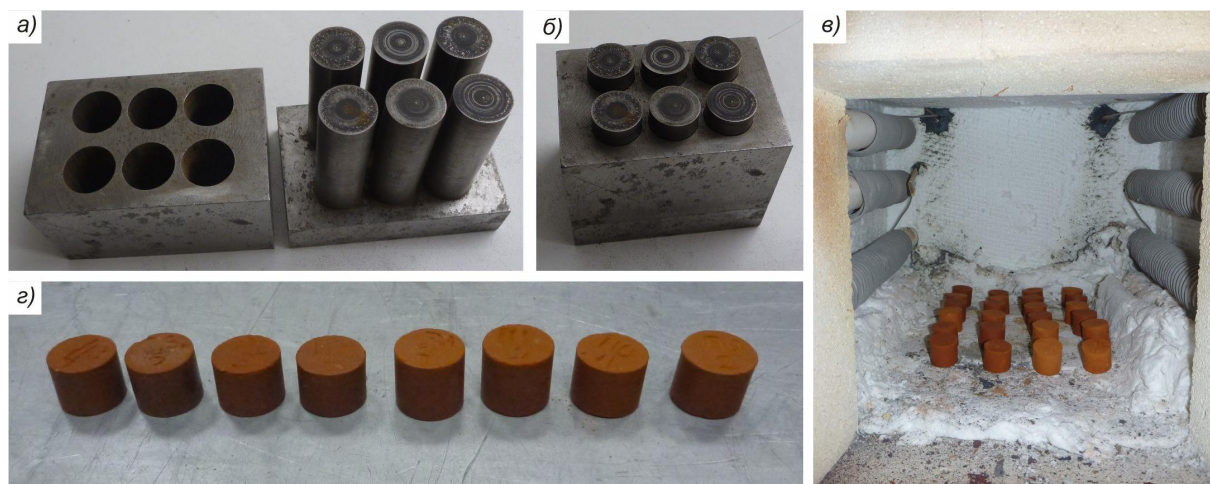
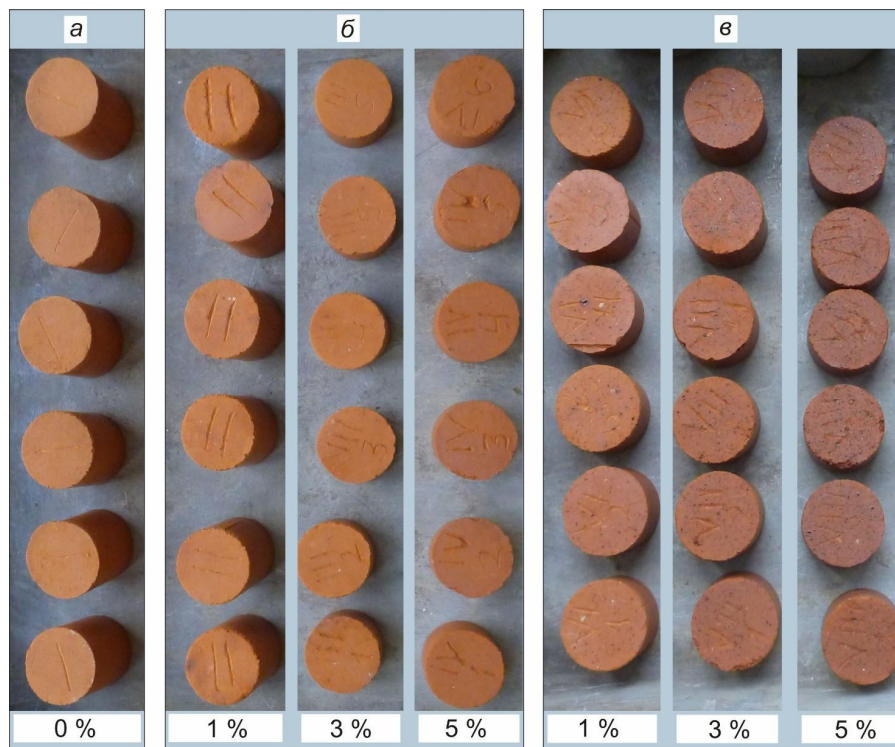
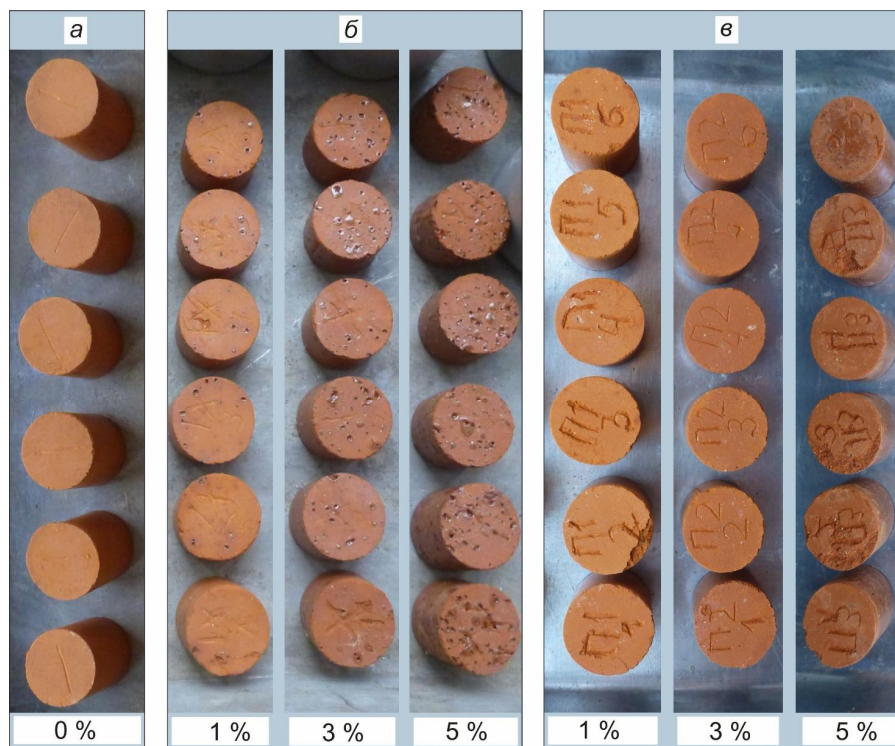


Рис. 1 – Лабораторное оборудование для изготовления керамических образцов-цилиндров: а – пресс-форма в разобранном виде; б – пресс-форма в собранном виде; в – обжиг образцов в муфельной печи; г – керамические образцы



Содержание корректирующей добавки в составе шихты

Рис. 2 – Керамические образцы с добавками водных солей натрия с тиосульфурной и борной кислотами:
а – без добавок; б – с добавкой тиосульфата натрия; в – с добавкой тетрабората натрия (буры)



Содержание корректирующей добавки в составе шихты

Рис. 3 – Керамические образцы с добавками солей натрия и калия с угольной кислотой:
а – без добавок; б – с добавкой карбоната натрия (сода); в – с добавкой калия-натрия углекислого



Таблица – Физико-механические свойства керамических образцов

Количество добавки натриевой соли, мас. %	Физико-механические свойства			Формовочная влажность пресс-порошка, %
	Прочность при сжатии, МПа	Средняя плотность, г/см³	Водопогло-щение, %	
Тиосульфат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$				
-	39	1,97	12,1	8,2
1	34	1,92	12,9	7,9
3	32	1,93	13,1	7,5
5	36	1,97	11,9	9,4
Тетраборат натрия (бура) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$				
-	38	1,95	12,1	7,6
1	42	1,93	13,7	7,8
3	44	1,87	13,6	8,0
5	46	1,82	10,2	9,2
Карбонат натрия (сода) Na_2CO_3				
-	38	1,95	12,1	7,6
1	31	1,90	12,7	7,7
3	35	1,90	14,5	8,4
5	26	1,86	13,4	7,9
Калий - натрий углекислый $\text{K}_2\text{CO}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3$				
-	31	1,89	12,2	8,1
1	30	1,86	13,8	8,6
3	28	1,87	14,4	9,7
5	26	1,88	12,7	9,8

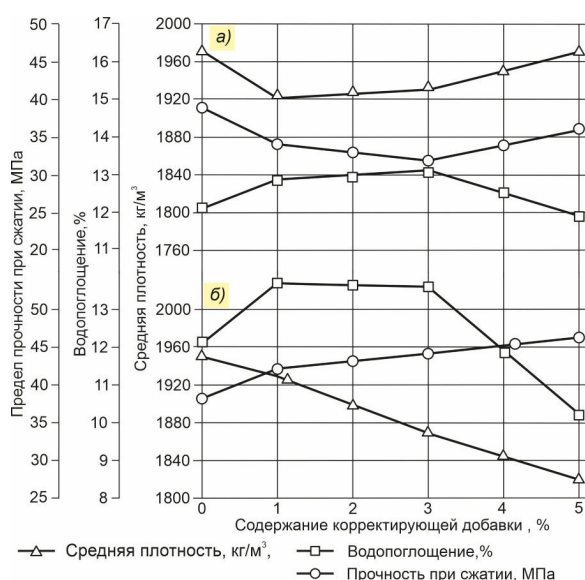


Рис. 4 – Зависимость физико-механических свойств керамических образцов из глинистого сырья от количества добавки водных солей натрия с тиосульфатной кислотой (а) и борной кислотой (б)

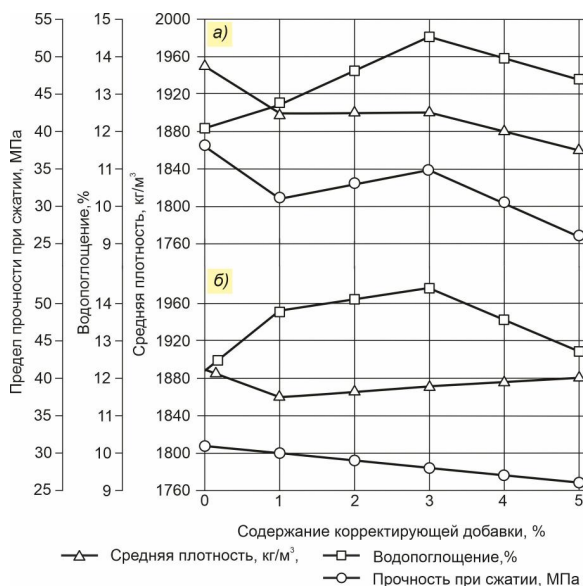


Рис. 5 – Зависимость физико-механических свойств керамических образцов из глинистого сырья от количества добавки средней соли натрия с угольной кислотой (а) и соли калия, натрия с угольной кислотой (б)

Закключение. Проведенные исследования физико-механических свойств керамических образцов при добавке в шихту из глинистого сырья солей щелочных металлов показали следующее:

- введение тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в количестве 1-3 мас. % уменьшает прочность керамики, связанную, прежде всего, с понижением средней плотности материала;

- введение тетрабората натрия $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (буры) в количестве 1-5 мас. % приводит к выраженному снижению средней плотности (в среднем на 7-

10 %) и повышению прочностных характеристик образцов (в среднем на 15-20 %);

- введение карбоната натрия Na_2CO_3 (сода) в целом приводит к снижению эксплуатационных характеристик, что можно объяснить разрыхлением материала в результате выделения углекислого газа при разложении карбонатов в процессе обжига;

- введение калия-натрия углекислого $\text{K}_2\text{CO}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3$ снижает прочность и повышает водопоглощение керамических образцов.



Перспективы дальнейших исследований.

Проведенные исследования показали перспективность проведения дополнительных исследований по улучшению спекания керамических материалов на основе калачевского суглинки, относящегося к гидрослюдисто-каолинитового типу, с использованием добавки тетрабората натрия при различных температуре и изотермической выдержки образцов.

Библиографический список

1. Яценко Н.Д., Яценко А.И. Использование отходов производства для улучшения эксплуатационных свойств керамического кирпича. *Строительные материалы*. 2024. No 4. С. 37–42. (На русском языке). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-823-4-37-42>.
2. Физико-механические свойства керамики на основе легкоплавкой глины, модифицированной отходами производства алюмохромового катализатора / Хузин А.Ф., Ламберов А.А., Егорова С.Р., Стоянов О.В., Габидуллин М.Г. // *Вестник Технологического университета*. 2015. Т. 18. No 16. С. 89-91.
3. Кара-сал Б.К. Повышение качества керамических изделий из низкосортных глин путем изменения параметров среды обжига. // *Строительные материалы*. — 2004. — No 2. — С. 29-30.
4. Салахов А.М., Кабиров Р.Р., Морозов В.П., Арискина Р.А., Валимухаметова А.Р., Арискина К.А. Исследование структуры и фазового состава глин в процессе их термической обработки // *Строительные материалы*. 2017. No 9. С. 18–22. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-752-9-18-22>.
5. Котляр В.Д. Фазовые преобразования при обжиге опок с карбонатными добавками при производстве стеновой керамики / А.Г. Бондарюк, В.Д. Котляр // *Строительные материалы*. - 2009. - No 12. - С. 24-26.
6. Небежко Ю.И., Котляр В.Д. Оценка и характеристика формовочных масс на основе суглинки при производстве мягкого формованного керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2024. No 4. С. 20–26. (На русском языке). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-823-4-20-26>.
7. Езерский В.А. Количественная оценка цвета керамических лицевых изделий // *Строительные материалы*. 2015. No 8. С. 76-80. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-728-8-76-80>
8. Какие факторы влияют на процесс спекания? Оптимизация свойств материалов с высокой точностью. URL: <https://ru.kindle-tech.com/faqs/what-are-the-factors-that-affect-sintering> (дата обращения: 10.03.2025).
9. Яценко Н.Д. Научные основы инновационных технологий керамического кирпича и управление его свойствами в зависимости от химико-минералогического состава сырья / Н.Д.Яценко, А.П.Зубехин // *Строительные материалы*. - 2014. - No 4. - С. 28-31.
10. Верещагин В. И., Шильцина А. Д., Селиванов Ю. В., Королькова Н. Н. Выбор компонентов керамических масс с учетом химического состава // *Известия ВУЗов. Химия и химическая технология*. 2010. No 11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-komponentov-keramicheskikh-mass-s-uchetom-himicheskogo-sostava>

(keramicheskikh-mass-s-uchetom-himicheskogo-sostava (дата обращения: 11.03.2025).

11. Гурьева В.А., Дорошин А.В. Приготовление керамического прессового порошка на основе алюмосиликатного глинистого сырья и золошлаковых отходов тепловых электростанций, синтезированных стекловидными микросферами. *Строительные материалы*. 2024. No 4. С. 27–31. (На русском языке). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-823-4-27-31>.

12. Гурьева В.А., Дорошин А.В., Ильина А.А. Модифицированные золошлаковые отходы в производстве керамического кирпича полусухого прессования // *Строительные материалы*. 2021. No 12. С. 28–33. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-28-33>.

13. Керамические стеновые материалы матричной структуры на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья / Столбоушкин А.Ю., Бердов Г.И., Верещагин В.И., Фомина О.А. // *Строительные материалы*. 2016. No 8. С. 19-24.

14. Подготовка шихты для производства керамического кирпича. URL: <https://www.gubskiy-kirpich.ru/podgotovka-shihty-dlya-proizvodstva-keramicheskogo-kirpicha> (дата обращения: 10.03.2025).

15. Полифункциональная добавка для регулирования технологических свойств керамических масс на основе грубодисперсных глинистых пород / Кара-сал Б.К., Сат Д.Х., Серен Ш.В. // В сборнике: Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России. Труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Сибирский государственный индустриальный университет, Архитектурно-строительный институт. 2016. С. 94-98.

16. Исследование и прогнозирование твердофазных реакций при обжиге керамических матричных композитов / Столбоушкин А.Ю., Фомина О.А. // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2016. No 7 (691). С. 23-35.

17. Шишакина О.А., Паламарчук А.А. Применение плавней в производстве керамических материалов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. — 2019. — No 11. — С. 105-109; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12941> (дата обращения: 20.01.2025).

18. Филиппович Е. Н., Хацринов А. И., Скворцов А. В., Сулейманова А. З., Зарипова Л. И. Влияние растворимых натриевых солей на структурообразование глинистых частиц сырья Шеланговского и Ключищенского месторождений // *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. No 8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-rastvorimyh-natrievykh-soley-na-strukturoobrazovanie-glinistykh-chastits-syrya-shelangovskogo-i-kluchishenskogo> (дата обращения: 11.03.2025).

19. Книгина Г.И., Вершинина Н.Э., Тацки Л.Н. Лабораторные работы по технологии строительной керамики и искусственных пористых заполнителей. Учеб. пособие для студентов вузов по спец. «Производство строительных изделий и конструкций». — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1985. — 223 с., ил.

20. Практикум по технологии керамики : учеб. пособие / Н.Т. Андрианов, А.В. Беляков, А.С. Власов [и др.]; под ред. И.Я. Гузмана. - М. : РИФ Стройматериалы, 2005. - 334 с. : ил.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 12.05.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 12.05.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.



Научная статья
УДК 691.3
ГРНТИ: 67.09 Строительные материалы и изделия
БАК: 2.1.5. Строительные материалы и изделия
doi:10.51608/26867818_2025_3_53

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ-УНОСА
НОВОМОСКОВСКОЙ ГРЭС НА СВОЙСТВА БЕТОНА

© Авторы 2025
SPIN: 3528-7452

ЧЕРКАСОВ Василий Дмитриевич
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой прикладной механики
*Российская академия архитектуры и строительных наук;
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: ias.dekanat@bk.ru)*

SPIN: 9910-2720

БАСАЛАЕВ Александр Анатольевич
аспирант
*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: sascha.basalaev@gmail.com)*

ГОРЮНОВ Владислав Евгеньевич
аспирант
*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
(Россия, Саранск, e-mail: goryunov98.98@mail.ru)*

Аннотация. В статье представлены результаты комплексного исследования влияния минеральной добавки на основе золы уноса на физико-механические и эксплуатационные свойства бетона. Проведены экспериментальные испытания бетонных образцов с различным содержанием добавки (0, 5, 10 и 15 % по массе цемента). Оценены прочность на сжатие, плотность, водопоглощение, морозостойкость цементного камня. Установлено, что оптимальная дозировка золы уноса составляет 10 %, при которой наблюдается максимальное улучшение эксплуатационных характеристик бетона. Результаты исследования подтверждают перспективность использования золы уноса как эффективной минеральной добавки, способствующей повышению качества строительных материалов и решению экологических задач.

Ключевые слова: бетон; зола-уноса; минеральная добавка; конструкция; прочность; плотность; водопоглощение; морозостойкость

Для цитирования: Черкасов В.Д., Басалаев А.А., Горюнов В.Е. Исследование влияния минеральной добавки на основе золы-уноса Новомосковской ГРЭС на свойства бетона // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 53-55.
doi:10.51608/26867818_2025_3_53.

Original article

PROPERTIES RESEARCH OF THE INFLUENCE OF MINERAL ADDITIVES BASED ON FLY ASH
FROM NOVOMOSKOVSKAYA GRES

© The Author(s) 2025

CHERKASOV Vasily Dmitrievich
Corresponding Member of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Prof.
*Russian Academy of Architecture and Construction Sciences;
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)*

BASALAEV Alexander Anatolyevich



PhD Candidate
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)
GORYUNOV Vladislav Evgenievich
PhD Candidate
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Russia, Saransk)

Abstract. The article presents the results of a comprehensive study of the effect of a mineral additive based on fly ash on the physical, mechanical, and operational properties of concrete. Experimental tests of concrete samples with various additive contents (0, 5, 10 and 15% by weight of cement) were carried out. The compressive strength, density, water absorption, and frost resistance of cement stone are evaluated. It has been established that the optimal dosage of fly ash is 10%, at which the maximum improvement in the performance characteristics of concrete is observed. The results of the study confirm the prospects of using fly ash as an effective mineral additive that helps improve the quality of building materials and solve environmental problems.

Keywords: concrete; fly ash; mineral additive; construction; strength; density; water absorption; frost resistance

For citation: Cherkasov V.D., Basalaev A.A., Goryunov V.E. Properties research of the influence of mineral additives based on fly ash from Novomoskovskaya GRES // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 53-55. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_53.

Введение. Современное строительство требует постоянного повышения качества и долговечности бетонных конструкций при одновременном снижении себестоимости и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Использование минеральных добавок, получаемых из промышленных отходов, таких как зола-уноса, полностью отвечает данным требованиям, так как зола является побочным продуктом сжигания угля на теплостанциях.

Зола-уноса богата активным кремнеземом, который при взаимодействии с гидроксидом кальция, образуемым в процессе гидратации цемента, участвует в пуццолановой реакции. В результате образуется дополнительное количество гидрата силиката кальция (C-S-H) с пониженным соотношением Ca/Si, что способствует увеличению плотности цементного камня и улучшению прочностных и долговечных свойств бетона. В результате пуццолановой реакции между гидроксидом кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и кремниевой кислотой H_4SiO_4 образуется гель гидрата силиката кальция (CSH), заполняющий поры и укрепляющий цементную матрицу. [1-2].

В литературе [3-4] отмечается положительное влияние золы уноса на прочность и морозостойкость бетона, однако оптимальные дозировки и механизмы действия требуют дополнительного изучения с учетом конкретных условий производства и состава исходных материалов.

Цель настоящего исследования - определить влияние минеральной добавки на основе золы уноса Новomoskovской ГРЭС на основные физико-механические свойства бетона и ее оптимальное количество в составе комплексного вяжущего.

Материалы и методы

1. Материалы

Для приготовления исследуемых образцов использовались следующие материалы:

- Портландцемент марки 500 (ГОСТ 10178-85);
- Зола уноса, полученная с Новomoskovской ГРЭС, содержащая около 60 % активного кремнезема;
- Кварцевый песок с модулем крупности 2,5 и гранитный щебень фракции 5–20 мм;
- Вода.

В таблице 1 описан химический состав добавки.

Таблица 1 – Химический состав золы уноса, %

Компонент	Содержание, %
SiO_2	60,2
Al_2O_3	18,5
Fe_2O_3	5,3
CaO	7,8
MgO	2,1
SO_3	1,2
Остальное	5,0

2. Приготовление бетонных смесей

Бетонные смеси готовились с заменой части цемента золой уноса в количестве 0 (контроль), 5, 10 и 15 % по массе цемента. Водоцементное отношение (W/C) поддерживалось постоянным и составляло 0,45. Пропорции компонентов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Состав бетонных смесей, кг/м³

Компонент	Контроль	5 % зола	10 % зола	15 % зола
Цемент	400	380	360	340
Зола уноса	0	20	40	60



Песок	700	700	700	700
Щебень	1100	1100	1100	1100
Вода	180	180	180	180

3. Методы испытаний

- **Прочность на сжатие** определялась по ГОСТ 10180-2012 [5] через 7, 28 и 90 суток твердения;
- **Плотность и водопоглощение** измерялись по ГОСТ 12730.2-2020 [6] и ГОСТ 12730.3-78 [7];
- **Морозостойкость** оценивалась по ГОСТ 10060-2012 [8] после 50 циклов замораживания-оттаивания;

Результаты

1. Прочность на сжатие

Результаты испытаний прочности на сжатие представлены в таблице 3 и на рисунке 1.

Таблица 3 – Прочность бетона на сжатие, МПа

Содержание золы уноса, %	7 суток	28 суток	90 суток
0 (контроль)	28,0	38,0	43,0
5	30,5	42,0	48,0
10	33,0	46,0	52,0
15	31,0	44,0	50,0

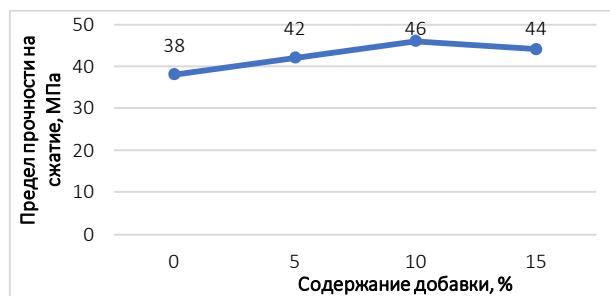


Рис. 1. – Зависимость прочности бетона на сжатие от содержания золы уноса

Максимальное увеличение прочности наблюдается при 10 % замене цемента золой уноса. При 15 % прочность несколько снижается, что связано с избыточным содержанием добавки и возможным ухудшением структуры цементного камня.

2. Плотность и водопоглощение

Плотность бетона с добавкой золы уноса увеличилась на 1,5–2 % по сравнению с контрольным образцом, что свидетельствует о повышении плотности цементного камня. Водопоглощение снизилось на 10–15 %, что указывает на уменьшение пористости и улучшение водонепроницаемости.

3. Морозостойкость

Образцы с 10 % золы уноса показали наилучшие показатели морозостойкости — потери прочности после 50 циклов замораживания-оттаивания составили менее 6 %, в то время как у контрольного образца потери достигали 12 %. Это свидетельствует о повышении долговечности бетона при использовании минеральной добавки.

Выводы. Полученные результаты подтверждают эффективность использования золы уноса в качестве минеральной добавки для бетона. Пуццолановая реакция активных кремнеземистых компонентов золы с гидроксидом кальция способствует формированию дополнительного количества гидратов кальцийсиликатов, что улучшает структуру цементного камня и повышает прочностные характеристики.

Оптимальная дозировка золы уноса составляет 10 %, при которой достигается максимальное улучшение прочности, плотности и морозостойкости бетона. При увеличении содержания добавки до 15 % наблюдается снижение прочности, что связано с возможным нарушением структуры и образованием микротрещин.

Использование золы уноса позволяет не только повысить качество бетона, но и решить экологическую проблему утилизации промышленных отходов, снижая нагрузку на окружающую среду.

Библиографический список

1. Парфенова, Л. М. Применение зол тепловых электростанций в бетонах / Л. М. Парфенова // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. – 2013. – №16. – С.68–72.
2. Lothenbach, B. Supplementary cementitious materials / B. Lothenbach, K. Serivener, R. D. Hooton // Cement and Concrete Research. – 2011. – Vol. 41. – P. 1244–1256.
3. Панибратов, Ю. П. К вопросу применения зол ТЭС в бетонах / Ю. П. Панибратов, В. Д. Староверов // Технологии бетонов. – 2011. – № 1–2. – С. 43–47.
4. Адева, Л. Н. Зола ТЭЦ перспективное сырье для промышленности / Л. Н. Адева, В. Ф. Борбат // Вестник Омского университета. – 2009. – № 2. – С. 141–145.
5. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности. — М.: Стандартинформ, 2018. — С. 7.
6. ГОСТ 12730.1-2020. Бетоны. Методы определения плотности. — М.: Стандартинформ, 2021. — С. 2–4.
7. ГОСТ 12730.3-78. Бетоны. Методы определения водопоглощения. — М.: Стандартинформ, 2007. — С. 2–4.
8. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. — М.: Стандартинформ, 2018. — С. 8–16.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 10.08.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 10.08.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.



Научная статья

УДК 69.04

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура

ВАК: 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения; 2.1.5. Строительные материалы и изделия

doi:10.51608/26867818_2025_3_56

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВРЕМЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ПРЕПЯТСТВИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИЙ В ТРЕХМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ

© Авторы 2025

SPIN: 5700-3310

ШМЕЛЕВ Геннадий Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлические конструкции и испытания сооружений»

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Казань, e-mail: gn.shmelev@mail.ru)*

ШИШКАНОВ Данил Геннадьевич

магистр

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Казань, e-mail: danil.shishkanov.ghost@mail.ru)*

ГАЛИЕВ Айну́р Асхатович

магистр

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Казань, e-mail: galiev.ainyr2001@mail.ru)*

Аннотация. Статья посвящена численному исследованию ветрового воздействия на временные сооружения при наличии и отсутствии на пути воздушного потока соседних объектов при изменении их габаритных размеров. Препятствия, обладающие простой геометрической формой, расположены на определенных расстояниях от временных строений. Воздействия на сооружения ветрового потока, смоделированные с помощью современного программного комплекса ANSYS, были проанализированы на примере реального объекта из легких строительных конструкций, которым является «шатер с двускатным покрытием». По результатам численного моделирования наличие соседних объектов на пути ветра, а также преобразование их формы путём уменьшения или увеличения геометрических размеров, изменяет характер обтекания исследуемого временного сооружения и тем самым приводит к перераспределению аэродинамических коэффициентов по поверхности. Это влияние не учитывается в отечественных (СП 20.13330.2016) и иностранных (EN 1991-1-4) нормах, что затрудняет определение наиболее точной неблагоприятной ветровой нагрузки не только для временных сооружений, но и для капитальных. Данные нормативные документы рассматривают лишь различные варианты плотности застройки вокруг строящегося здания. Поэтому требуется уточнение ветровой нагрузки на сооружения с учетом препятствий.

Ключевые слова: сооружения; препятствия; ветровая нагрузка; вычислительная гидродинамика; двускатный шатер; ветровое давление; аэродинамические коэффициенты; ветровой поток

Для цитирования: Шмелев Г.Г., Шишканов Д.Г., Галиев А.А. Исследование ветрового воздействия на временные сооружения с учетом препятствий при изменении различных параметров конструкций в трехмерной постановке // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 56-60. doi:10.51608/26867818_2025_3_56.

Original article

STUDY ON THE WIND IMPACT ON TEMPORARY STRUCTURES CONSIDERING THE BARRIERS THAT ARISE WHEN CHANGING DIFFERENT PARAMETERS OF STRUCTURES IN A THREE-DIMENSIONAL SETTING

© The Author(s) 2025

SHMELEV Gennady Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department
KSUAE (Russia, Kazan)

SHISHKANOV Danil Gennadievich

Master

KSUAE (Russia, Kazan)

GALIEV Aynur Askhatovich

Master

Abstract. The article is devoted to a numerical study of wind impact on temporary structures in the presence and absence of airstreams from neighboring objects when their dimensions change. Barriers with a simple geometric shape are located at certain distances from temporary structures. Effects on wind flow structures, modeled with the help of modern ANSYS software complex, were analyzed on the example of a real object from light construction structures, which is a «tent with double-slope coating». According to the results of numerical modeling, the presence of neighboring objects in the wind path, as well as their shape transformation by reducing or increasing geometric dimensions, changes the flow pattern of the investigated temporary structure and thus leads to a redistribution of aerodynamic coefficients over the surface. This influence is not taken into account in domestic (SP 20.13330.2016) and foreign (EN 1991-1-4) standards, which makes it difficult to determine the most accurate adverse wind load not only for temporary structures but also for capital ones. These regulations only consider different densities around a building under construction. Therefore, the wind load on structures needs to be clarified considering barriers.

Keywords: construction; barriers; wind load; computational fluid dynamics; double-slope tent; wind pressure; aerodynamic coefficients; wind stream

For citation: Shmelev G.N., Shishkanov D.G., Galiev A.A. Study on the wind impact on temporary structures considering the barriers that arise when changing different parameters of structures in a three-dimensional setting // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 56-60. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_56.

Введение. Для временных сооружений, таких как сцены, шатры или трибуны, ветер является одной из основных нагрузок, поэтому предметом исследования будут служить фактические ветровые нагрузки [1]. В СП "Нагрузки и воздействия" имеются аэродинамические коэффициенты лишь для определенных типов конструкций, однако в действительности архитектурные формы реальных сооружений более сложные [2]. В нормативных документах нет примеров сооружений, имеющих нетипичную схему, также в них не учитывается влияние соседних строений на ветровое давление. Это вызывает необходимость частичной корректировки ветровой нагрузки на сооружения данного типа [3].

В нормах СП "Нагрузки и воздействия" предлагается применение результатов, полученных с помощью испытаний крупномасштабных моделей конструкций в специальных аэродинамических установках, которые позволяют воспроизводить пограничный слой атмосферы. Однако проведение таких испытаний — очень дорогое и трудоёмкое дело, при этом для наиболее больших сооружений они осуществляются уже за границей. Также стоит отметить, что в подходе моделирования ветровых воздействий есть свои погрешности, включая и определенные ограничения [3-8].

В связи с развитием и увеличением производительности современных расчетных комплексов последние годы наблюдается стремительное развитие вычислительной гидрогазодинамики (CFD, FLUENT). Всё чаще комбинируются численные эксперименты и испытания в аэродинамических трубах ведущими иностранными исследовательскими организациями как способ дополнительной проверки [9-14]. Одним из способов применения результатов подобного исследования является создание справочной базы для большего числа типовых схем временных сооружений. Наиболее полные и верные данные о

действии потока ветра на сооружения предоставляет проверенная методика, основой которой служит численное решение трехмерных уравнений гидродинамики [16-19].

Методы математического моделирования позволяют обеспечить точность вычислений и в значительной степени уменьшить ресурсы для выполнения расчетов ветровых воздействий на здания и сооружения [20-22].

В рамках данного численного моделирования ветровых воздействий был использован программный комплекс ANSYS-CFX.

Расчетные схемы. В качестве обдуваемого временного сооружения выбран следующий объект — шатер с двускатным покрытием. Общий вид сооружения представлен на рис. 1 ниже.

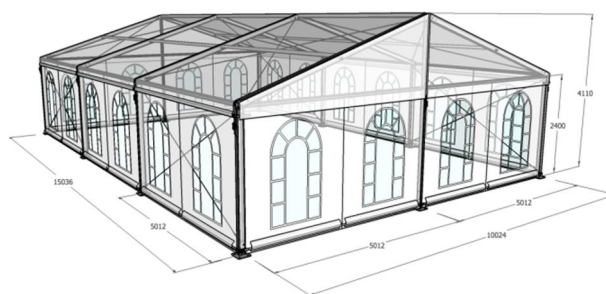


Рис. 1. Общий вид шатра с двускатным покрытием

Численное моделирование ветрового воздействия на сооружение будет вестись на основе следующих схем:

1) Схема №1 — Модель шатра без соседних объектов;

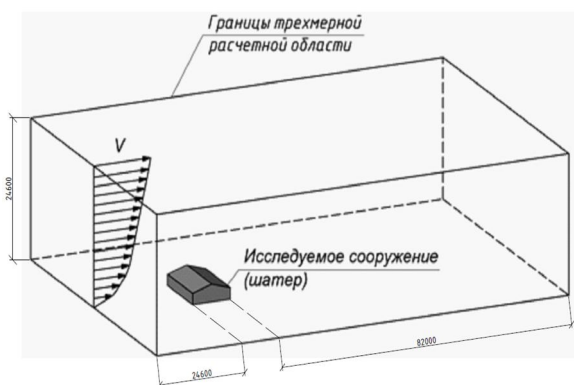


Рис. 2. Анализируемая схема №1 (трехмерная расчетная модель одиночного шатра), где V — переменная скорость ветра по высоте

2) Схема №2 — Модель шатра с учетом соседних объектов при изменении параметров z и H (здесь z — расстояние между препятствием и исследуемым сооружением, H — высота препятствия);

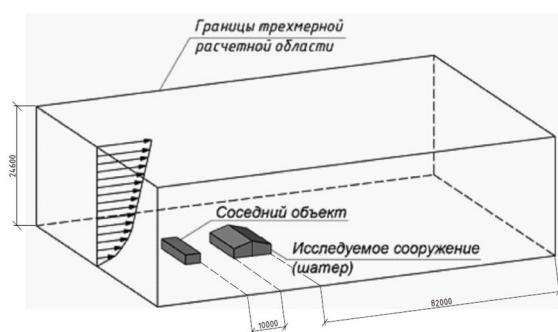


Рис. 3. Анализируемая схема №2 (трехмерная расчетная модель шатра с наличием препятствия), где V — переменная скорость ветра по высоте

Для получения корректных результатов и исключения влияния границ на ветровой поток габариты расчетной области в форме параллелепипеда были назначены по следующим требованиям:

- 1) боковая граница должна быть расположена на расстоянии не менее $6H$ от края обдуваемого сооружения (где H — высота сооружения);
- 2) задняя граница области (заветренная часть за обдуваемым сооружением) — не менее $20H$;
- 3) передняя граница области (наветренная часть перед обдуваемым сооружением) — не менее $6H$;
- 4) верхняя граница области (высота) — не менее $6H$;
- 5) параметр “блокировка” B , равный отношению площади поперечного сечения здания к площади поперечного сечения расчетной области, должен не превышать 3%.

Назначаются граничные условия расчетной области:

1) Модель турбулентности принимается ShearStressTransport, сочетающую в себе также модели турбулентности k - ω и k - ϵ ;

2) Температура и плотность воздуха задана постоянной во всех точках расчетной области ($\rho = 1,1839 \text{ кг/м}^3$, $t = 25 \text{ гр. по Цельсию}$);

3) Тип моделирования ветрового потока выбирается стационарным (т.е. уравнения аэродинамики решаются в предположении, что параметры ветра не изменяются с течением времени).

Финальные этапы — расчет и анализ полученных результатов.

Результаты и выводы. Анализ модели шатра без соседних объектов:

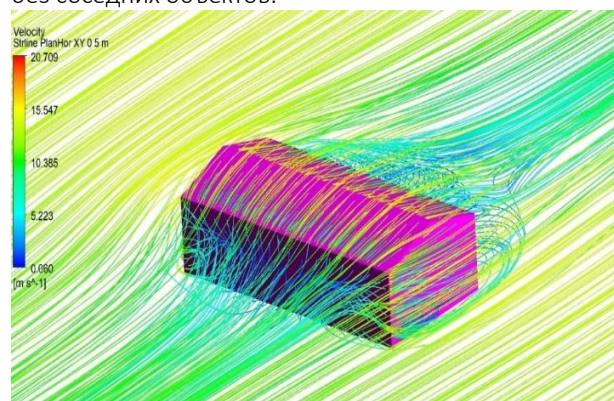


Рис. 4. Характер обтекания одиночного шатра (линии тока ветра). Общий вид

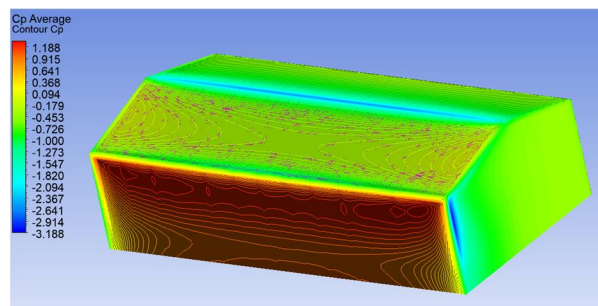


Рис. 5. Характер распределения аэродинамических коэффициентов по поверхности одиночного шатра. Общий вид

Анализ модели шатра с учетом соседних объектов в вертикальной продольной плоскости (по центру) при изменении параметров [z — расстояние, H — высота]:

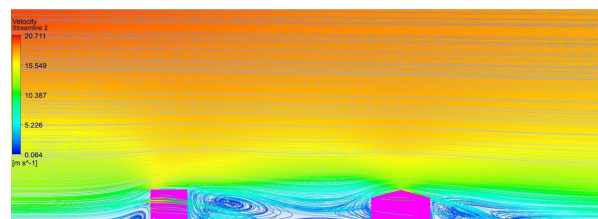


Рис. 6. Характер обтекания шатра с учетом соседних объектов при $z = 5h$. Продольный вертикальный разрез расчетной области по середине.

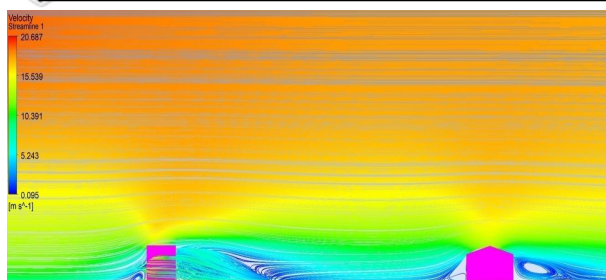


Рис. 7. Характер обтекания шатра с учетом соседних объектов при $z = 10h$. Продольный вертикальный разрез расчетной области по середине



Рис. 8. График зависимости среднего аэродинамического коэффициента [Cf] по поверхности сооружения (в плоскости по середине) от изменения [z]

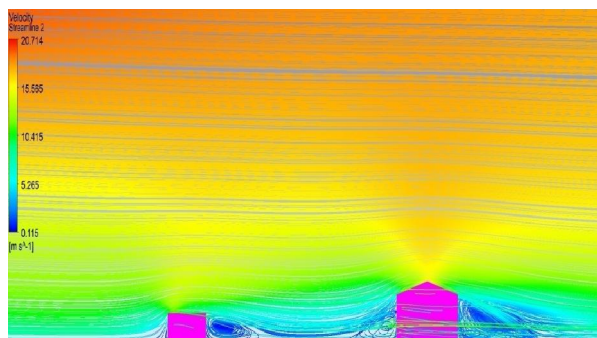


Рис. 9. Характер обтекания шатра с учетом соседних объектов при $H = 0.5h$. Продольный вертикальный разрез расчетной области по середине

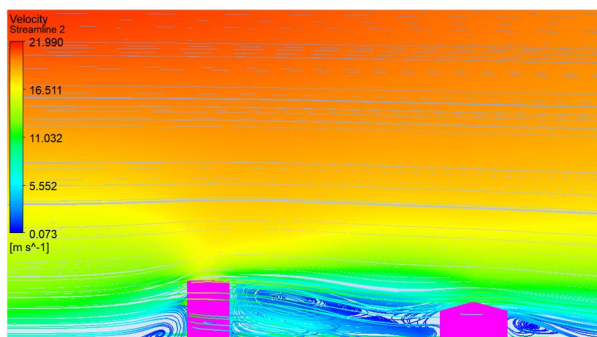


Рис. 10. Характер обтекания шатра с учетом соседних объектов при $H = 1.5h$. Продольный вертикальный разрез расчетной области по середине



Рис. 11. График зависимости среднего аэродинамического коэффициента [Cf] по поверхности сооружения (в плоскости по середине) от изменения [H]

Заключение. На различных зрелищных мероприятиях, таких как, например, концерты или соревнования, широко применяются временные сооружения сложной формы. Ветер для них является одной из основных воздействий, а значит, более точное уточнение аэродинамических коэффициентов по поверхности конструкций играет важную роль в задании ветровых нагрузок.

1. Выполнено численное моделирование потока ветра на отдельностоящие исследуемые сооружения как с учетом наличия препятствий, так и без.

2. Установлено, что наличие препятствия приводит к резкому уменьшению аэродинамических коэффициентов сравнительно с расчетами без препятствий (на наветренной части “стены” — от 0.8 до -0.6; на заветренной части “стены” — от -0.3 до -0.2; на крыше — от -0.6 до -0.35 (приведены средние значения в вертикальной плоскости по середине)).

2. Увеличение расстояния между объектами при высоте препятствия ниже высоты исследуемого сооружения уменьшает влияние ветровых нагрузок (на наветренной части “стены” — от -0.6 до 0.2; на заветренной части “стены” — от -0.2 до -0.15; на крыше — от -0.35 до -0.2 (приведены средние значения в вертикальной плоскости по середине)).

3. В целом, увеличение высоты препятствующих сооружений способствует к увеличению зоны разрежения за препятствующим зданием, чему свидетельствуют увеличивающиеся отрицательные значения коэффициентов (на наветренной части “стены” — от -0.24 до -0.26; на заветренной части “стены” — от -0.045 до -0.26; на крыше — от -0.17 до -0.28).

Библиографический список

1. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения — Пер. с англ. Б.Е. Маслова, А.В. Швецов; Под ред. Б.Е. Маслова. - М.: Стройиздат, 1984 г.
2. Никитин Н.В., Травуш В.И. О ветровых нагрузках в г. Москве // Строительная механика и расчет сооружений. №3, 1972 г.



3. Горохов Е.В., Кузнецов С.Г., Васылев В.Н. Воздействие ветра на высотные здания и их комплексы // Сборник научных трудов. - Москва: МГСУ, 2008 г.
4. Дубинский С.И. Расчеты высотных сооружений при ветровом воздействии // САПР и графика. №10. 2005 г.
5. Дубинский С.И. Численное моделирование ветровых воздействий на комплекс «Федерация» «Москва-Сити» // International Computational Civil and Structural Engineering. Volume 4, Issue 2.
6. Дубинский С.И., Серебренникова А.В. Численное моделирование ветровой аэродинамики в пешеходных зонах "высотной" застройки // Международная научно-практическая конференция «Теория и Дронта расчета зданий, сооружений и элементов конструкций. Аналитические и численные методы» - Москва, МГСУ, 12 ноября 2008 г.
7. МДС 20-1.2006. Временные нормы по назначению нагрузок и воздействий, действующих на многофункциональные высотные здания и комплексы в Москве. - М. 2006 г.
8. Комплекс "Федерация". Назначение расчетных нагрузок. // ЦНИИСК им. Кучеренко. — 2006 г.
9. Белостоцкий А.М., Дубинский С.И. Некоторые аспекты верификации программных средств численного моделирования конструкций и сооружений // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering Volume 4, Issue2. 2008 г.
10. Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред - М.: Физматлит, 1994 г.
11. О. Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений, учеб. пособие. - СПб.: Изд-во БГТУ, 2001 г.
12. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. — М., ИАСВ, 2007 г.
13. ANSYS 8.0: обзор новых возможностей // графика №1Г 2003 г.
14. Дубинский С.И. ANSYS и ANSYS/CivilFEM в строительстве. // САПР и графика. № 12, 2004 г.
15. Research on Wind Load Characteristics on the Surface of a Towering Precast Television Tower with a Grid Structure Based on Large Eddy Simulation / P. Wu [et al.] // Buildings. 2022. Vol. 12, no. 9. P. 428.
16. Маклакова Т.Г. Высотные здания. // Москва. ИАСВ. 2006 г.
17. Дубинский С.И. Программный комплекс ANSYS LS-DYNA 8.0. / САПР и графика. №3, 2004 г.
18. Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В. Аэродинамика высотных зданий // АВОК. — № 8, 2004 г.
19. AIJ Recommendations for Loads on Buildings. // Architectural Institute of Japan, 1996.
20. Gluhov I. O., Gasilina S. P., Varlamova T. V. Problemy ustojchivosti vysotnyh zdaniy pri dejstvii vetrovyh nagruzok // Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve. — 2020. — № 5 (44). — S. 359-363.
21. Varibrus D. S., Nakonechnaya A. S. Vozdejstvie vetrovoj nagruzki na vysotnye zdaniya i mery, umen'shayushchie ee vozdejstvie // Innovacionnaya nauka. — 2020. — № 12. — S. 174-176.
22. Liu, C., He, L., Wu, Z. and Yuan, J.: Experimental and numerical study on lateral stability of temporary structures. Archives of civil and mechanical engineering 18 (Elsevier), 1475-89 (2018).
23. Lamps B. B., Shilov S. S., Khazov P. A. Chislennoe i fizicheskoe modelirovanie vetrovykh potokov na bolshepolnyotnoe pokrytie / Vestnik Mosk. gos. stroit. un-ta. — Moscow, 2022. — № 1. — P. 21–31.
24. Mikheev, P., Okorokov, R., Sidorenko, G., Timofeeva, A.: Determination of energy costs of wind farms at all life cycle stages. Advances in Intelligent Systems and Computing 982, 242-256 (2020).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 02.07.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 02.07.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.

Научная статья

УДК 69.07

ГРНТИ: 30.19 Механика деформируемого твердого тела; 67 Строительство и архитектура

ВАК: 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела; 2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2025_3_61

ПРОЧНОСТЬ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ИЗГИБАЕМЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СО СПИРАЛЬНЫМ АРМИРОВАНИЕМ БЕТОНА СЖАТОЙ ЗОНЫ

© Авторы 2025

SPIN: 8162-5048

КРИШАН Анатолий Леонидович

доктор технических наук, профессор

Магнитогорский государственный технический университет

им. Н.И. Носова; Научно-исследовательский институт строительной

физики Российской академии архитектуры и строительных наук

(НИИСФ РААСН)

(Россия, Магнитогорск, e-mail: kris_al@mail.ru)

SPIN: 4036-9659

КОЛЕСНИКОВ Владислав Дмитриевич

аспирант

Магнитогорский государственный технический университет

им. Н.И. Носова

(Россия, Магнитогорск, e-mail: vladislav-kolesnikov74@mail.ru)

SPIN: 9629-5322

РИМШИН Владимир Иванович

член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор

Национальный исследовательский Московский государственный

строительный университет; Научно-исследовательский институт

строительной физики Российской академии архитектуры

и строительных наук (НИИСФ РААСН)

(Россия, Москва, e-mail: v.rimshin@niisf.ru)

SPIN: 3756-6776

АСТАФЬЕВА Мария Анатольевна

кандидат технических наук, доцент

Магнитогорский государственный технический университет

им. Н.И. Носова; Научно-исследовательский институт строительной

физики Российской академии архитектуры и строительных наук

(НИИСФ РААСН)

(Россия, Магнитогорск, e-mail: skymanika@mail.ru)

Аннотация. Предложена методика расчета прочности нормальных сечений изгибаемого элемента в виде труботонной балки прямоугольного сечения, которая может иметь косвенное армирование сжатой зоны в виде спирали. Методика основана на нелинейной деформационной модели и позволяет определять напряженно-деформированное состояние балки по мере ее загрузки постепенно возрастающей нагрузкой. Описана последовательность построения диаграммы деформирования бетона в условиях постепенно возрастающего бокового давления на него со стороны спиральной арматуры. Разработанная модель позволяет рассчитывать балки с различным конструктивным исполнением. Выполненное сопоставление расчетных и опытных значений предельных изгибающих моментов для трех типов труботонных балок показало их хорошее соответствие.

Ключевые слова: прочность; железобетон; хлоридная коррозия; композитные материалы; усиление строительных конструкций; строительная механика

Для цитирования: Прочность нормальных сечений изгибаемых труботонных элементов со спиральным армированием бетона сжатой зоны / А.Л. Кришан, В.Д. Колесников, В.И. Римшин, М.А. Астафьева // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 61-67. doi:10.51608/26867818_2025_3_61.



STRENGTH OF NORMAL CROSS-SECTIONS OF BENDING TUBULAR CONCRETE ELEMENTS WITH SPIRAL REINFORCED CONCRETE COMPRESSION ZONE

© The Author(s) 2025

KRISHAN Anatoly Leonidovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

FSBEI HE MSTU named after G.I. Nosov; Head of the Institute of City Development of the University of Minstroy (Russia, Magnitogorsk)

KOLESNIKOV Vladislav Dmitrievich

PhD Candidate

FSBEI HE MSTU named after G.I. Nosov; Head of the Institute of City Development of the University of Minstroy (Russia, Magnitogorsk)

RIMSHIN Vladimir Ivanovich

Corresponding Member of RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor

NRU MSUCE; Head of the Institute of City Development of the University of Minstroy (Russia, Moscow)

ASTAFIEVA Maria Anatolyevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

FSBEI HE MSTU named after G.I. Nosov; Head of the Institute of City Development of the University of Minstroy (Russia, Magnitogorsk)

Abstract. A method is proposed for calculating the strength of normal sections of a bent element in the form of a rectangular tube-concrete beam, which may have indirect reinforcement of the compressed zone in the form of a spiral. The technique is based on a nonlinear deformation model and makes it possible to determine the stress-strain state of a beam as it is loaded with a gradually increasing load. The sequence of constructing a diagram of concrete deformation under conditions of gradually increasing lateral pressure on it from spiral reinforcement is described. The developed model makes it possible to calculate beams with various structural designs. A comparison of the calculated and experimental values of the maximum bending moments for three types of pipe-concrete beams showed their good agreement.

Keywords: strength; reinforced concrete; chloride corrosion; composite materials; reinforcement of building structures; construction mechanics

For citation: Strength of normal cross-sections of bending tubular concrete elements with spiral reinforced concrete compression zone / A.L. Krishan, V.D. Kolesnikov, V.I. Rimshin, M.A. Astafieva // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 61-67. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_61.

Введение. При проектировании уникальных зданий и сооружений или объектов, возводимых в районах с повышенной сейсмичностью, особо востребованы несущие каркасы с высокой живучестью. Такую живучесть могут обеспечить конструкции, требующие больших энергетических затрат на их разрушение. Ученые Московского государственного технического университета [1-2] для этих целей предложили использовать железобетонные балки с косвенным армированием сжатой зоны стальными сетками. Выполненные исследования подтвердили, что балки с косвенным армированием действительно имеют большую потенциальную энергию разрушения за счет высокой прочности и повышенной пре-

дельной деформативности. Однако процесс изготовления таких балок отличается повышенной трудоемкостью, что может сдерживать их применение на практике.

В данной работе рассматривается изгибаемый элемент в виде трубобетонной балки. Она изготавливается из стальной трубы прямоугольного поперечного сечения, которая заполняется самоуплотняющимся бетоном.

При изгибе такой балки бетон находится в условиях сложного напряженного состояния вследствие ограниченности деформаций по ширине и высоте поперечных сечений. Стальная труба наряду с изгибом подвергается давлению со стороны бетон-



ного ядра. На практике это проявляется в некотором росте прочности и предельной деформативности бетона сжатой зоны [3-9]. Причем из-за теоретических сложностей достоверной оценки силового сопротивления изгибаемого трубобетонного элемента, с одной стороны, и относительно небольшого увеличения прочности бетона, с другой стороны, рассматривается работа бетона и стали в условиях одноосных напряженных состояний сжатия и растяжения. Такой подход принят и в действующем в России нормативный документе – СП 266.1325800.2016.

Для повышения прочности и предельных деформаций бетона в сжатой зоне трубобетонной балки предложено размещать косвенную арматуру в виде спирали. Одновременно нижняя полка трубы усиливается стальным листом, способствующим увеличению высоты сжатой зоны бетона для полного включения в работу спирального армирования. Для такой конструкции объемное сжатие бетона будет иметь заметное влияние на характер ее силового сопротивления. Ранее исследовались сжатые трубобетонные элементы с косвенным армированием спиралями [10-13]. Положительное влияние спирали на их прочность подтверждено экспериментально. В последние годы проведено немало исследований изгибаемых трубобетонных элементов круглого или квадратного сечения, изготовленных из бетона и стали обычной и высокой прочности [14-19]. Эксперименты показали, то эти элементы обладают достаточно высокой прочностью и жесткостью. Однако косвенное армирование в исследованных балках ранее не применялось.

Для возможности использования трубобетонных балок со спиральным армированием в практике строительства требуется наличие достоверных методов расчета их прочности. Рекомендательный в СП 266.1325800.2016 расчет прочности нормальных сечений изгибаемых трубобетонных элементов по методу предельных усилий является приближенным и не дает возможности учесть косвенное армирование бетонного ядра балки. Нелинейный деформационный расчет изложен только в самом общем виде и не содержит достаточно информации для разработки требуемого алгоритма вычислений. Целью данного исследования является разработка методики деформационного расчета прочности нормальных сечений трубобетонных балок, в том числе имеющих усовершенствованную конструкцию за счет косвенного армирования бетона сжатой зоны.

Методология

2.1 Первый этап

Исходной базой для деформационного расчета являются диаграммы деформирования используемых материалов. Поэтому задачей первого этапа является установление таких диаграмм.

В бетонном ядре учитывается работа только сжатой зоны. Вид диаграммы деформирования бетона принимается криволинейным с восходящим и нисходящим участками. Аналитическое описание криволинейной диаграммы может быть выполнено при известных координатах ее вершины – прочности при сжатии и соответствующей деформации. Для трубобетонных балок прямоугольного сечения, не имеющих косвенного армирования бетонного ядра, эти координаты предлагается принимать как для одноосно сжатого бетона.

Наличие в балке спиральной арматуры приводит к усложнению расчетов. В процессе постепенного наращивания деформаций в сжатом бетоне в пределах диаметра спирали растет реактивное боковое давление на него, обусловленное влиянием косвенной арматуры. За пределами спирального армирования боковые деформации бетона сдерживает стальная труба, особенно в угловых зонах поперечного сечения. Влияние стальной трубы как обоймы невелико и его сложно оценить количественно. В этой зоне трубу допускается рассматривать как одноосно сжатую. Однако наличие такой обоймы позволяет достаточно обоснованно принять допущение о совместной работе бетона как в пределах, так и за пределами спиральной арматуры. В этой связи в расчете предлагается использовать осредненную прочность бетона сжатой зоны.

Прочность бетона сжатой зоны балки R_{bp} определяется в зависимости от наличия спирального армирования. Для балок без спирального армирования R_{bp} принимается равной призменной прочности бетона $R_{bp} = R_{bu}$. Для балок со спиральной арматурой она вычисляется по формуле

$$R_{bp} = \frac{R_{bc}A_c + R_{bu}(A_b - A_c)}{A_b}, \quad (1)$$

где R_{bc} – прочность объемно сжатого бетона внутри спирали;

A_b – площадь сжатой зоны бетона в поперечном сечении балки;

A_c – площадь поперечного сечения бетонного ядра, ограниченного спиральной арматурой.

Прочность тяжелого объемно сжатого бетона рассчитывается по формулам, приведенным в [20] и записываемым в следующем виде:

$$R_{bc} = R_{bu} \left[1 + \left(0,5\bar{\sigma} + \frac{\bar{\sigma} - 2}{4} + \sqrt{\left(\frac{\bar{\sigma} - 2}{4} \right)^2 + 4\bar{\sigma}} \right) \right]; \quad (2)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_{br}}{R_{bu}} = 0,475\mu_{sc} \frac{\sigma_{sc}}{R_{bu}}, \quad (3)$$

в которых $\bar{\sigma}$ – относительная величина бокового давления, которая определяется в зависимости от растягивающего напряжения в спиральной арматуре σ_{sc} , μ_{sc} – коэффициент спирального армирования.



Сомножитель 0,475 в формуле (3) учитывает неравномерность распределения бокового давления по высоте сжатой зоны бетона (коэффициент 0,5) и неравномерность обжатия бетона между витками спирали (коэффициент 0,95).

Растягивающее напряжение в спиральной арматуре определяется в зависимости от вида принятой для неё диаграммы деформирования. Например, при двух линейной диаграмме деформирования используется формула

$$\sigma_{sc} = \varepsilon_{sc} E_{s,c} \leq \sigma_{y,c}, \quad (4)$$

где ε_{sc} – относительные деформации удлинения спиральной арматуры;

$E_{s,c}$ – модуль упругости спиральной арматуры;

$\sigma_{y,c}$ – предел текучести стали спиральной арматуры.

Значение ε_{sc} зависит от соотношения коэффициентов поперечных деформаций и модулей упругости спиральной арматуры и бетона, коэффициента упругости бетона, а также от параметров косвенного армирования. Формулы для расчета ε_{sc} приведены в [20].

Для балки с заданной шириной сечения площадь A_b , а следовательно и прочность бетона R_{bp} в формуле (1) зависят от высоты сжатой зоны x , которая вначале расчета неизвестна. Из-за конструктивных особенностей балки эта высота обычно получается относительно небольшой. Чтобы косвенное армирование использовалось более эффективно приближенным расчетом подбирается такая толщина δ листа усиления растянутой полки трубы, чтобы вся спираль располагалась в сжатой зоне. С учетом данного фактора предлагается следующая последовательность вычислений. Первоначально положение нейтральной оси в поперечном сечении балки принимается проходящей через наименее сжатую точку спиральной арматуры. Для такого случая производится расчет по методу предельных усилий [21] и из условия равновесия уточняются высота сжатой зоны x , площадь A_b и прочность R_{bp} . Расчет повторяется до достижения заданной точности.

Затем высота сжатой зоны пересчитывается для криволинейной эпюры напряжений в бетоне, используя ее связь с высотой прямоугольной эпюры – $x_{\phi} = x/0,8$ (или $x_{\phi} = x/0,7$ для высокопрочного бетона).

При известной осредненной прочности бетона по ранее полученной формуле [20] вычисляется деформация в вершине диаграммы его состояния

$$\varepsilon_{b0c} = \varepsilon_{b0} \alpha_b^{3,2} - \frac{R_{bu}}{E_b} (\alpha_b^{3,2} - \alpha_b). \quad (5)$$

где ε_{b0} – деформация в вершине диаграммы состояния одноосно сжатого бетона (определяется по формуле $\varepsilon_{b0} = (1,2 + 0,16\sqrt{B}) / 1000$, B – класс бе-

тона по прочности на сжатие в интервале от B15 до B100);

E_b – начальный модуль упругости бетона;

α_b – приращение прочности бетона за счет косвенного армирования ($\alpha_b = R_{bp} / R_{bu}$).

Предельная деформация на крайнем сжатом волокне бетона вычисляется по формуле

$$\varepsilon_{bu} = \varepsilon_{b2} \frac{\varepsilon_{boc}}{\varepsilon_{bo}}, \quad (6)$$

где ε_{b2} – деформация в конце диаграммы состояния одноосно сжатого бетона.

Аналитическая связь между сжимающими напряжениями σ_b в бетоне и соответствующими текущими деформациями ε_b согласно предложению [22] описывается формулой

$$\sigma_b = \left[2 \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{boc}} - \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{boc}} \right)^2 \right] R_{bp}. \quad (7)$$

Стальная труба-оболочка рассматривается в одноосном напряженном состоянии – сжатии или растяжении. Для нее принимается трёхлинейная диаграмма состояния, предлагаемая СП 266.1325800.2016. Диаграммы деформирования продольной и спиральной арматуры принимаются в зависимости от их класса по СП 63.13330.2018.

2.2 Второй этап

На втором этапе с использованием принятых к расчёту диаграмм осуществляется определение прочности нормальных сечений трубобетонной балки. Расчетная схема усилий и напряжений в сечении приведена на рисунке 1.

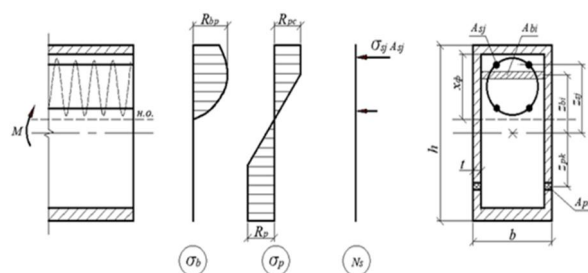


Рис. 1. Схема усилий и эпюры напряжений в нормальном сечении балки

Эпюра деформаций по высоте сечения принимается соответствующей гипотезе Бернулли. Справедливость принятия данной гипотезы подтверждается тем, что к моменту потери прочности конструкции взаимодействие между бетоном и трубой обеспечивается силами трения. Адгезия между бетонным ядром и металлической оболочкой составляет порядка 0,5÷1,5 МПа и из-за разности коэффициентов Пуассона стали и бетона уже к концу упругой стадии работы конструкции преодолевается. Однако



трение, вследствие высокого коэффициента [20, 23], обеспечивает их совместное деформирование.

Сечение балки разбивают на малые участки с площадями бетона A_{bi} и стальной оболочки A_{pk} . При наличии продольной арматуры учитывают и площадь сечения всех ее стержней A_{sj} . Произвольно выбирают точку начала координат.

В расчете используются основные положения и зависимости нелинейной деформационной модели, приведенные в СП 266.1325800.2016.

Переход от эпюры напряжений в бетоне и стальной обложке к обобщенным внутренним усилиям проводят с использованием процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению. В пределах каждого малого участка бетонного ядра и стальной оболочки напряжения принимают равномерно распределенными (усредненными). Определяют эти напряжения для бетона по формуле (7) в центре тяжести каждого участка, а для участков трубы и продольной арматуры в центре тяжести в зависимости от значений соответствующих деформаций в соответствии с принятыми диаграммами.

Алгоритм расчета зависит от принятого типа задачи.

Задача № 1. Цель расчёта заключается в определении максимального изгибающего момента M_u , которое способно воспринимать нормальное сечение изгибаемой трубобетонной балки. В этом расчете с использованием формул (5) и (6) вычисляют деформации крайнего сжатого волокна бетона в предельном состоянии. Затем методом последовательных приближений определяют положение нейтральной оси, используя уравнение равенства сжимающих и растягивающих усилий

$$0 = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} + \sum_k \sigma_{pk} A_{pk} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} \quad (8)$$

Изгибающий момент M_u вычисляют по формуле

$$M_u = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Z_{bi} + \sum_k \sigma_{pk} A_{pk} Z_{pk} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Z_{sj} \quad (9)$$

в которой Z_{bi} , Z_{pk} , Z_{sj} – координаты центра тяжести i -го участка бетона, p -го участка стальной трубы и j -ой продольной арматуры относительно принятого начала координат.

Задача № 2. Цель расчета состоит в определении напряженно-деформированного состояния нормального сечения балки по мере ее загрузки постепенно возрастающей нагрузкой. Основная сложность расчета состоит в том, что боковое давление на бетон со стороны спиральной арматуры, в значительной степени определяющее координаты вершины диаграммы деформирования, имеет переменную величину. По мере загрузки балки оно возрастает от нуля до некой предельной величины, зависящей от конструктивных и геометрических параметров рассчитываемого элемента.

Теоретический анализ показывает, что спираль начинает выполнять функцию косвенной арматуры при таком уровне напряжений в бетоне, когда коэффициент его поперечных деформаций становится больше, чем у арматуры. До этого уровня бетон внутри спирали можно считать одноосно сжатым с соответствующей диаграммой деформирования. При дальнейшем увеличении уровня напряжений бетон начинает растягивать спиральную арматуру в поперечном направлении. Тогда возникает реактивное боковое давление и реализуются условия объемного сжатия. Но каждому уровню напряжений в бетоне будет соответствовать своя величина бокового обжатия, а, следовательно, и своя диаграмма деформирования.

С учетом данных обстоятельств предлагается следующая последовательность решения:

1) Продольная деформация укорочения наиболее сжатого волокна бетона ϵ_{bmax} по шагово наращивается, начиная с нуля.

2) На каждом шаге определяется относительная деформация растянутого волокна ϵ_{bmin} , соответствующая условию равновесия (8) продольных усилий в нормальном сечении. Для этого с использованием условий плоского поворота и плоского смещения определяются деформации в середине каждого малого участка бетонного ядра и стальной трубы, а так же по центру тяжести продольной арматуры (при наличии). Напряжения в середине каждого сжатого участка бетонного ядра рассчитываются по формуле (7), в которой R_{bp} принимают в зависимости от осредненной величины бокового давления σ_{br} внутри спирали. Для этого используется формула (3).

Напряжения в стальной трубе и в продольной арматуре находят как для одноосно сжатого или одноосно растянутого (в зависимости от знака деформаций) элемента по двух- или трехлинейной диаграмме деформирования.

3) По формуле (9) вычисляют изгибающий момент M , соответствующий продольной деформации ϵ_{bmax} .

4) По мере роста деформации ϵ_{bmax} получают зависимость « $M - \epsilon_{bmax}$ ».

5) Прочность нормального сечения балки считается достигнутой при выполнении одного из условий. Либо деформация крайнего сжатого волокна ϵ_{bmax} достигает величины предельной деформации ϵ_{bu} , которую также пересчитывают на каждом шаге в зависимости от бокового давления σ_{br} . Либо изгибающий момент M на очередном шаге увеличения деформации ϵ_{bmax} начинает снижаться. Тогда предельное значение момента, которое может выдерживать сечение, принимается с предыдущего шага расчета.



Результаты. Проверка достоверности предложенных методик расчета выполнена по результатам сопоставления теоретических и опытных значений разрушающего изгибающего момента M_u^{th} и M_u^{exp} . Для получения опытных данных проводились испытания при четырехточечном изгибе трех серий труботонных балок [22]. Всего было испытано 9 балок пролетом 2,9 м. Все они изготавливались из трубы прямоугольного поперечного сечения 160×80×4 мм из стали С345. Трубы заполнялись тяжелым самоуплотняющимся бетоном класса В70. Балки серии I не имели спирального армирования. Балки серии II и III в сжатой зоне имели арматурный каркас, состоящий из четырех продольных стержней Ø6 A400 и спирали из арматуры Ø6 A240. Среднее значение предела текучести арматуры составляло 450 МПа и 310 МПа соответственно. Диаметр спирали был равен 60 мм, шаг - 25 мм. Нижняя полка трубы образцов серии II и III усиливалась листом сечением 70×4 мм из стали С345.

Образцы серии III имели лишь одно отличие от серии II. Для упрощения процесса бетонирования в трубах балок этой серии срезались верхние полки, которые затем использовались для усиления нижних полок. Такой вариант конструкции приводил к увеличению высоты сжатой зоны бетона.

Сопоставление M_u^{th} и M_u^{exp} для исследованных балок выполнено в таблице 1. Здесь же сравниваются значения высоты сжатой зоны бетона x^{th} и x^{exp} перед разрушением балок.

Как следует из данных таблицы 1 предложенная методика расчета на основе нелинейной деформационной модели позволила достаточно точно определить прочность труботонных балок всех трех конструктивных решений. Различия между теоретическими и расчетными значениями прочности не превышали 7%. Среднее значение отношения M_u^{exp}/M_u^{th} для девяти балок составило 1,01, а стандартное отклонение – 0,05. Столь малые отклонения теории от опытов нетипичны для сталежелезобетонных конструкций, но они объясняются тщательно проведенными экспериментами и относительно небольшим количеством испытанных балок.

Использование спирального армирования сжатой зоны и усиления трубы в растянутой заметно сказалось на прочности труботонных балок. Среднее значение предельного момента по серии II оказалось в 1,41 раза больше по сравнению с аналогичным моментом для серии I. Сравнение с предельным моментом для наиболее прочного образца из серии I тоже дает приличное повышение прочности (порядка 30%). Достигнутый результат следует признать хорошим. Он вполне оправдывает некоторое усложнение конструкции балки.

Прочность балок со срезанными полками в сжатой зоне оказалась примерно на 6% ниже, чем балок серии II. Такое снижение является незначительным. При необходимости упрощения технологии бетонирования балки по типу серии III могут с успехом применяться на практике.

Таблица 1 – Сопоставление расчетных и опытных данных

Серия, образец	R_{wy} , МПа	x^{exp} , мм	x^{th} , мм	M_u^{exp} , кН·м	M_u^{th} , кН·м	x^{exp}/x^{th}	M_u^{exp}/M_u^{th}
I – 1	73,3	64	65	51,47	52,82	0,98	0,97
I – 2	70,8	64	67	57,71	52,44	0,95	1,10
I – 3	71,8	64	66	49,76	52,51	0,97	0,95
II – 1	74,5	62	59	76,95	74,99	1,05	1,03
II – 2	71,3	64	62	71,70	73,98	1,03	0,96
II – 3	72,2	63	61	75,50	74,22	1,03	1,02
III – 1	72,5	79	75	67,04	69,66	1,05	0,96
III – 2	71,8	79	77	74,35	69,20	1,02	1,07
III – 3	73,4	78	74	72,56	70,07	1,05	1,03
Среднее значение						1,01	1,01
Стандартное отклонение							

Выводы. На основе нелинейной деформационной модели разработаны методики определения прочности нормального сечения труботонных балок и оценки их напряженно-деформированного состояния по мере загрузки постепенно возрастающей нагрузкой. Исследование показало, что использование деформационной модели позволяет успешно рассчитывать балки с различным конструктивным исполнением, в том числе с косвенным армированием сжатой зоны бетона. Проведенное сопоставление теоретических и опытных значений прочности свидетельствует об их удовлетворительном соответствии. Полученные высокие значения прочности и предельных деформаций подтверждают факт повышенных затрат энергии, необходимых для разрушения труботонных балок.

Библиографический список

1. Тамразян А.Г. К расчету изгибаемых железобетонных элементов с косвенным армированием сжатой зоны / А.Г. Тамразян, И.К. Манаенков // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 41–44.
2. Ванус Д.С. Экспериментальные исследования железобетонных балок с сетчатым армированием сжатой зоны // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 5. С. 56–57.
3. Abed F.H., Abdelmageed Y.I., Ilgun A.K. Flexural response of concrete-filled seamless steel tubes // Journal of Constructional Steel Research 149 (2018). 53–63
4. Cai, H. and Yan, Y. X. UHPC-Filled Rectangular Steel Tubular Beam-Column: Numerical Study and Design. // Building. 2022. 12(11). DOI: 10.3390/buildings12111882
5. Gho W.M., Liu D. Flexural behavior of high-strength rectangular concrete-filled steel hollow sections // Journal ConstrSteelRes 2004; 60:1681–96.



6. Han L.H., Lu H., Lao F.Y. Further study on the flexural behavior of concrete-filled steel tubes // *J ConstrSteelRes*2006;62:554–65.
7. Wang R., Han L.H., Nie J.G., Zhao X.L. Flexural performance of rectangular CFST members // *Thin-Walled Structures* 79(2014)154–165
8. Yan, Y. X., Yan, Y., Wang, Y. S. et al. Seismic Behavior of UHPC-Filled Rectangular Steel Tube Columns Incorporating Local Buckling // *Building*. 2023. 13(4). DOI: 10.3390/buildings13041028
9. Yu, M., Liao, W. L., Liu, S. M. et al. Axial compressive performance of ultra-high performance concrete-filled steel tube stub columns at different concrete age // *Structures*. 2023. 55. pp. 664–676. DOI: 10.1016/j.istruc.2023.05.113
10. Hamidian M.R., Jumaat M.Z., Alengaram U.J. Pitch spacing effect on the axial compressive behavior of spirally reinforced concrete-filled steel tube // *Journal of Thin-Walled Structures*. 2016. Vol.93. Pp.92–76.
11. Krishan A.L., Astafeva M.A., Chernyshova E.P. Numerical and Experimental Investigation of Axially Loaded Columns with Spiral Reinforcement // *Materials Science Forum*. 2023. 1087. Pp. 163–168.
12. Rimshin V., Krishan A.L., Korol E., Roschina S, Shubin I. Square Section Tube-Concrete Structures Studying Under Axial Compression Both with Spiral Reinforcement of the Concrete Core and Without ReinforcementProceedings of MPCPE 2022 // *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 335. Springer, Cham. Pp. 165–181. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30570-2_15
13. Xiamuxi A. A study on axial compressive behaviors of reinforced concrete filled tubular steel columns [Text] / A. Xiamuxi, A. Hasegawa // *Journal of Constructional Steel Research*. 2012. Vol. 76. Pp.144–154.
14. Арленинов, П. Д. Расчетно-экспериментальные исследования изгибаемых трубобетонных конструкций = Calculation of the central and eccentrically compressed pipe-concrete structures strength / Арленинов П. Д., Крылов С. Б., Смирнов П. П. - (Теоретические и экспериментальные исследования). Текст: непосредственный // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2017. № 4. С. 34–38 : ил., фот., табл. - Библиогр.: с. 37–38 (6 назв.). ISSN 1681-6560.
15. Хазов П.А., Помазов А.П. Экспериментальное исследование продольного и поперечного изгиба трубобетонных стержней // *Жилищное строительство*. 2023. № 12. С. 66–71. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-12-66-71>
16. Guochang Li, Di Liu, Zhijian Yang, Chunyu Zhang. Flexural behavior of high strength concrete filled high strength square steel tube // *Journal of Constructional Steel Research* 128 (2017) 732–744
17. Jiang A., Chen J., Jin W-L. Experimental investigation and design of thin-walled concrete-filled steel tubes subject to bending // *Thin-Walled Structures* 63 (2013) 44–50
18. Hemzah S.A., Al-Obaidi S., Salim T. Flexural behavior of concrete filled steel tube composite with different concrete compressive strength International // *Journal of Civil Engineering and Technology*. Volume 9, Issue 7, July 2018, pp. 824–832 <https://www.researchgate.net/publication/327335527>
19. Ming-Xiang Xiong, De-Xin Xiong, J.Y. Richard Liew. Flexural performance of concrete filled tubes with high tensile steel and ultra-high strength concrete // *Journal of Constructional Steel Research* 132 (2017) 191–202
20. Кришан А.Л., Римшин В.И., Астафева М.А. Сжатые трубобетонные элементы. Теория и практика. - М. 2020. 375 с. ISBN: 978-5-4323-0352-3.2020
21. Кришан А.Л., Римшин В. И., Астафева М.А., Колесников В.Д., Лихидько М.А. Прочность изгибаемых трубобетонных элементов усовершенствованной конструкции // *Строительство и реконструкция*. 2024. № 6 (116). С. 37–47.
22. Han, L.-H., Li, W. and Bjorhovde, R. Developments and advanced applications of concrete-filled steel tubular (CFST) structures: Members // *Journal of Constructional Steel Research*. 2014. 100. pp. 211–228. DOI: 10.1016/j.jcsr.2014.04.016
23. Барашиков А.Я. Исследование влияния условий сцепления внутренней поверхности трубы с бетоном в трубобетонных конструкциях / А.Я. Барашиков, О.В. Яцько // *Современное промышленное и гражданское строительство*. 2011. Том 7. №3. С. 173–183. https://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2011-3/07_baraschikov_yacko.pdf.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 10.07.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 10.07.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.



Научная статья

УДК 624.012.45:624.046

ГРНТИ: 30.19 Механика деформируемого твердого тела; 67 Строительство и архитектура

БАК: 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела; 2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2025_3_68

СОПРОТИВЛЕНИЕ СЖАТЫХ БЕТОННЫХ ПОЛОС В БАЛКАХ, ИМЕЮЩИХ МАЛЫЙ ПРОЛЕТ СРЕЗА

© Авторы 2025

SPIN: 9538-8583

ЛАСЬКОВ Сергей Николаевич

ассистент

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(Россия, Пенза)*

SPIN: 8911-0460

ЛАСЬКОВ Николай Николаевич

доктор технических наук, профессор

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(Россия, Пенза)*

SPIN: 4476-8066

ЛАВРОВА Ольга Владимировна

кандидат технических наук, доцент

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(Россия, Пенза)*

Аннотация. В статье рассмотрено построение расчетных моделей сопротивления срезу так называемых коротких балок, имеющих соотношение a/h_0 меньше 1,5. Рассмотрен процесс разрушения указанных конструкций и анализ напряженно-деформированного состояния при изменении пролета среза a/h_0 от 0,1 до 1,5. Приведены расчетные зависимости для оценки прочности коротких балок.

Ключевые слова: балки с малым пролетом среза; расчет; прочность; наклонная полоса бетона; строительная механика

Для цитирования: Лавров С.Н., Лавров Н.Н., Лаврова О.В. Сопротивление сжатых бетонных полос в балках, имеющих малый пролет среза // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 68-71. doi:10.51608/26867818_2025_3_68.

Original article

RESISTANCE OF COMPRESSED CONCRETE STRIPS IN BEAMS WITH A SMALL CUT-THROUGH

© The Author(s) 2025

LASKOV Sergey Nikolaevich

assistant

*Penza State University of Architecture and Construction
(Russia, Penza)*

LASKOV Nikolay Nikolaevich

Doctor of Technical Sciences, Professor

*Penza State University of Architecture and Construction
(Russia, Penza)*

LAVROVA Olga Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

*Penza State University of Architecture and Construction
(Russia, Penza)*

Abstract. The article considers the construction of models that are calculating the resistance to the cut of so-called short beams having a ratio a/h_0 less than 1.5. The article studies the process of destruction of the specified structures and analysis of the

stressed-deformed state when the cut-off passage a/h_0 changes from 0.1 to 1.5. Calculated dependencies for short beam strength are given.

Keywords: short-span beams; calculation; strength; sloping concrete strip; construction mechanics

For citation: Laskov S.N., Laskov N.N., Lavrova O.V. Resistance of compressed concrete strips in beams with a small cut-through // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 68-71. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_68.

В настоящее время прочность балок, имеющих пролет среза a/h_0 менее 1,5 рассчитывается по аналогии с обычными балками [2]. В результате этого их прочность оказывается либо сильно завышенной, либо заниженной.

Рассмотрим процесс (механику) разрушения бетонной сжатой полосы, определяющей прочность коротких балок, в соответствии с известной моделью КСМ и опытными данными [2]. Бетонная полоса испытывает наклонное сжатие вдоль оси и срез вдоль диагоналей. Процесс разрушения происходит в следующей последовательности. Образуются граничные трещины сдвига полосы относительно окружающего бетона (рис.1, а). Затем происходит увеличение высоты верхнего и нижнего клиньев, формирующихся в зонах смятия бетона (рис.1, б), одновременно с развитием пластических деформаций. При этом боковые поверхности клиньев, сближаясь, образуют X-образные диагональные плоскости среза сжатой полосы. Поперечные растягивающие усилия распределяются по треугольной эпюре вдоль боковых граней бетонных полос-призм (рис.1, в). В связи с тем, что при дальнейшем росте нагрузки, примерно равной 85% от разрушающего значения, происходит увеличение объема призмы в результате процесса трещинообразования в бетоне полосы (см. рис.1, в), сдерживающее влияние оказывает окружающий бетон. Эпюра бокового сопротивления бетона является зеркальным отражением треугольной эпюры поперечных растягивающих усилий. Сопротивление бетона, окружающего расчетную полосу-призму, условно назовем эффектом обоймы. В некоторых случаях сопротивление окружающего бетона количественно снижается за счет появления граничных трещин сдвига, которые в дальнейшем не развиваются по ширине.

Остановим внимание на трех характерных особенностях. Следует объяснить, почему разрушение коротких балок при срезе сжатой полосы происходит по диагональному сечению, соединяющему грани грузовой и опорной площадок, в то время как сопротивление срезу происходит по двум диагональным сечениям. Ответ на этот вопрос очевиден. При моделировании в коротких балках выделяется призма-полоса бетона с равными по длине диагоналями - сечениями среза. Так как в действительности одно из диагональных сечений имеет большую длину среза, форма разрушения коротких балок выглядит как разрушение по сечению с меньшей дли-

ной. Однако совместная работа бетонной полосы по двум диагональным сечениям происходит вплоть до разрушения.

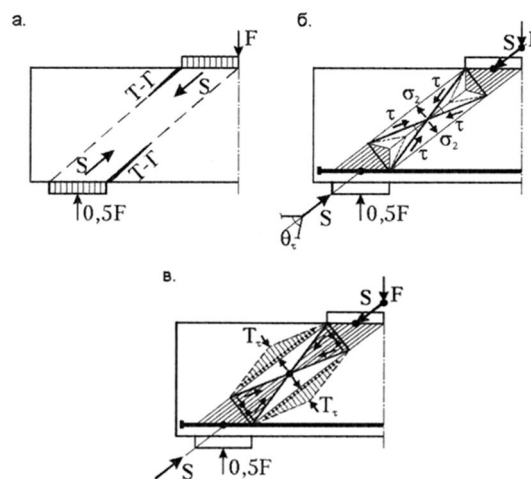


Рис. 1. Схема поэтапного сопротивления разрушению сжатой полосы бетона в коротких балках:

а – схема образования трещин; б – схема формирования диагональных сечений среза; в – схема сопротивления бетона, окружающего расчетную полосу

Другой особенностью является несимметричное сопротивление бетона, окружающего расчетные полосы. Причинами являются различный характер напряженного состояния и объем бетона, окружающего указанные полосы с внешней и внутренней стороны. Бетон с внутренней стороны наклонной полосы испытывает растяжение, максимальное значение которого соответствует уровню расположения продольной арматуры. Поэтому образование и раскрытие граничной трещины происходит в результате совместного действия сдвигающих и растягивающих усилий. В связи с тем, что ордината треугольной эпюры сопротивления окружающего бетона в этом уровне равна нулю, впоследствии при оценке сопротивления бетона этой особенностью можно пренебречь.

К третьей особенности относится изменение характера (механики) разрушения коротких балок по наклонным полосам бетона, которые выявлены при переходе угла наклона плоскости среза в отрицательный сектор. На рис.2 показаны схемы изменения видов разрушения сжатых полос и фрагмент секторов положительных и отрицательных углов линий среза.

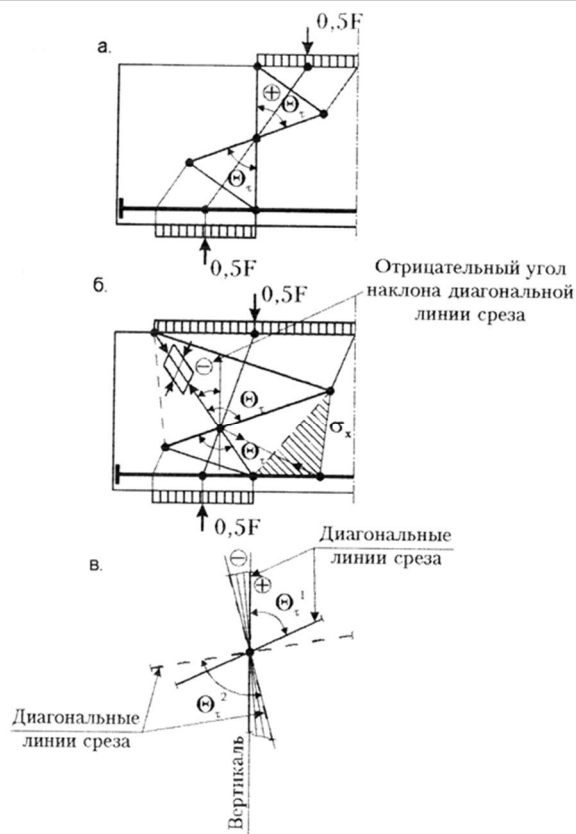


Рис. 2. Схема перехода разрушения наклонной бетонной полосы коротких балок от разрушения при совместном действии сжимающих усилий и усилий среза к разрушению при действии сжимающих усилий: а – диагональное сечение среза проходит параллельно вертикальной оси; б – диагональное сечение среза имеет отрицательный угол наклона; в – фрагмент расположения сечений среза с положительным и отрицательным углами наклона

Отличие схем разрушения балок заключается в том, что разрушение в результате среза в балках с отрицательным углом среза принципиально невозможно, так как в этом случае по сечению среза действуют только сжимающие напряжения.

Рассмотрим построение расчетных моделей при изменении пролета среза при определении прочности.

Приведем пример построения расчетной модели при пролете среза $a/h_0=0,5$.

В качестве основы построения модификации известной расчетной стержневой модели КСМ коротких балок [2] были использованы рассмотренные особенности напряженного состояния и схем разрушения.

На рис. 3 показаны известная модель КСМ и ее модификация - КСМ-τ. Приняты три предпосылки. К первой относится сохранение общего принципа построения стержневой модели [2].

Это означает, что ключевые точки модели, угол наклона сжатой полосы, ширина полосы поверху и понизу определяются в полном соответствии

с моделью КСМ. Ко второй предпосылке относится соблюдение разработанного принципа моделирования сопротивления бетонной призмы, куба и бруса.

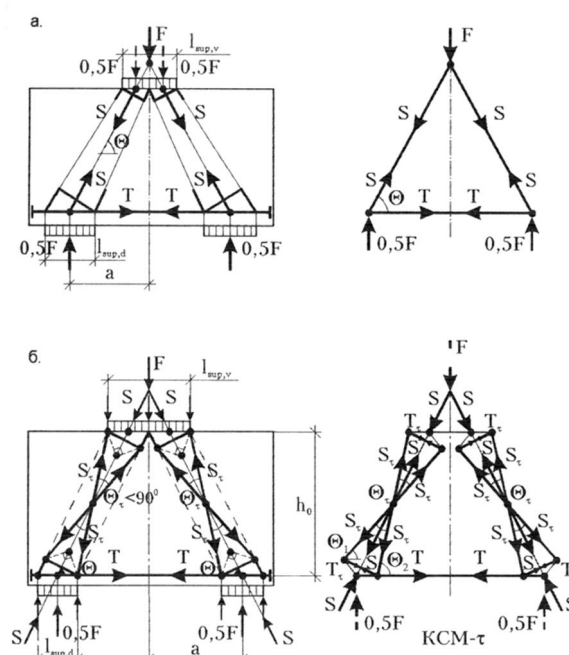


Рис. 3. Схемы стержневых расчетных моделей при оценке прочности коротких балок: а – модель КСМ; б – модель КСМ-τ

Модель КСМ дополняется диагональными стержнями, имитирующими срез наклонной полосы. При этом упраздняются стержни, ранее в КСМ имитирующие боковые грани полосы. К третьей предпосылке относится изменение угла наклона верхнего и нижнего клиньев, имитирующего схему расположения диагональных сечений среза. Новая модель КСМ-τ образуется путем замены каждого наклонного стержня в модели КСМ двумя наклонными Х-образными стержнями, расположенными по направлению диагональных сечений среза сжатой бетонной полосы.

Сложная стержневая система состоит из симметрично расположенных относительно вертикальной оси ферменных аналогий сопротивления, в которых возникают растягивающие усилия среза S_τ (см. рис.3).

Расчет прочности сжатой полосы при срезе производится по следующей зависимости:

$$S_\tau \leq R_{bt} \cdot b \cdot L, \quad (1)$$

или

$$F \leq 4R_{bt} \cdot b \cdot L \sin \theta \cos \theta_\tau, \quad (2)$$

где θ , θ_τ – углы наклона сечений среза;

L – длина диагонального участка линии среза, определяемая по формуле:

$$L = h_0 / \sin \theta_2; \quad (3)$$

здесь θ_2 – угол наклона сечения среза;



R_{bt}^* - прочность бетона при срезе с учетом влияния предельных напряжений,

$$R_{bt}^* = \gamma_{\tau} R_{bt}; \quad (4)$$

здесь γ_{τ} - коэффициент, определяемый на основании критерия прочности А.А. Гвоздева.

Расчет прочности коротких балок при совместном разрушении в результате сжатия и среза производится по следующим формулам

$$S_{\tau} \leq R_{bt}^* b L, \quad (5)$$

$$S_b \leq \gamma_{\tau 1} R_{bt} b l_b, \quad (6)$$

или

$$F \leq 4 R_{bt}^* b L \sin \theta \cos \theta + 2 \gamma_{\tau 1} \Psi_v R_{bt} b l_b \sin \theta, \quad (7)$$

где l_b - ширина расчетной наклонной сжатой полосы бетона,

$$l_b = l_{sup,v(d)} \sin \theta; \quad (8)$$

Ψ_v - коэффициент, учитывающий влияние бетона, окружающего расчетную полосу.

Расчет прочности по растянутому арматурному поясу не изменяется и производится по формулам

$$T \leq \gamma_s R_s A_s, \quad (9)$$

или

$$F \leq \gamma_s R_s A_s \tan \theta, \quad (10)$$

где γ_s - коэффициент, учитывающий влияние вида арматуры на прочность растянутого арматурного пояса.

Усовершенствованные модели КСМ-т и КСМ-Т при расчете прочности и трещиностойкости значительно увеличивают область действия новой методики расчета. Она включает в себя элементы с пролетом среза, равным нулю, короткие балки при пролете среза $a/h_0 \leq 0,25$, а также балки с пролетом среза $1,0 \leq a/h_0 \leq 1,5$ при изменении большого числа факторов, значения которых изменялись в полном диапазоне. Предлагаемые каркасно-стержневые модели и расчетные зависимости позволяют обеспечить необходимую безопасность коротких балок на стадии их проектирования. Расчетные величины усилий хорошо согласуются с опытными данными. Среднее отклонение составляет $F_{test}/F_{calc} = 1,14$; $F_{test,crc}/F_{calc,crc} = 1,16$.

Библиографический список

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: 2019 – 161 с.
2. Лаврова О.В. Методика расчета прочности железобетонных коротких балок, усиленных на основе каркасно-стержневой модели / Региональная архитектура и строительство. 2019, №4. – С.98-103.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 15.08.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 15.08.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.



Научная статья

УДК 539.42, 624.046.2

ГРНТИ: 30.19.53: Прочность строительных конструкций

БАК: 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела; 2.1.9 Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2025_3_72

О РАЗВИТИИ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИНАХ С УЧЕТОМ ДИЛАТАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© Автор 2025

SPIN: 8966-7812

AuthorID: 453902

ORCID 0000-0001-8601-4021

ScopusID: 6507502084

ResearcherID: ABA-7387-2021

ТРЕЩЕВ Александр Анатольевич

член-корреспондент РААСН,

доктор технических наук,

профессор, зав. кафедрой ССМиК

РААСН; Тульский государственный университет

(Россия, Тула, e-mail: taa58@yandex.ru)

Аннотация. Рассмотрена разработанная модель расчета деформирования тонких жестких пластин, вызванное поперечным нагружением. Важной особенностью этой модели является то, что она разработана для отслеживания развития областей пластического деформирования изотропных дилатирующих композитных материалов, пределы текучести которых зависят от вида напряженного состояния. Кроме того в ней учтена возможность перехода к классическому условию пластичности Губера – Мизеса – Генки, что позволило оценить погрешности традиционной теории. Модель изгиба пластин сформулирована таким образом, чтобы расчет можно было провести во всех стадиях деформирования – упругой, за пределами упругости и вплоть до образования сквозной пластичности по типу пластических шарниров. Рассмотрены композитные материалы, для которых в упругой стадии деформирования справедлив обобщенный закон Гука, а при выходе за пределы упругости их поведение можно интерпретировать как идеальная пластичность, но с учетом дилатансии. В качестве условий пластичности, применимых к дилатирующим материалам использовались модели Ломакина Е.В. и автора представленной статьи. При решении конкретных задач представлены преимущества авторского подхода к учету пластической дилатансии, который базируется на методике девиаторного инвариантного нормированного векторного пространства. Модель деформирования пластин ограничена геометрически линейной постановкой, а физическая картина в процессе нагружения претерпевает переход от упругой линейности к упругопластической нелинейности. Конкретные расчеты осуществлены численно с определением необходимых характеристик проявления пластической дилатансии и с оценкой погрешностей теорий по отношению к авторской модели.

Ключевые слова: условия пластичности; пластическая дилатансия; геометрическая линейность; упругопластическая нелинейность; численная интерпретация; интенсивность напряжений; октаэдрическое нормированное пространство; механика деформируемого твердого тела

Для цитирования: Трещев А.А. О развитии пластических деформаций в прямоугольных пластинах с учетом дилатации композитных материалов // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 72-81. doi:10.51608/26867818_2025_3_72.

Original article

ON THE DEVELOPMENT OF PLASTIC DEFORMATIONS IN RECTANGULAR PLATES CONSIDERING THE DILATION OF COMPOSITE MATERIALS

© The Author(s) 2025

TRESHCHEV Alexander Anatolyevich

Corresponding Member of the RAACS, Honorary builder of Russia,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of SSMiK

Russian Academy of Architecture and Construction Sciences;

Tula State University

(Russia, Tula, e-mail: taa58@yandex.ru)

Abstract. The developed model for calculating the deformation of thin rigid plates caused by transverse loading is considered. An important feature of this model is that it was developed to track the development of plastic deformation regions of isotropic dilatant composite materials whose yield strengths depend on the type of stress state. In addition, it takes into account the



possibility of transition to the classical Huber-Mises-Hencky plasticity condition, which made it possible to estimate the errors of the traditional theory. The plate bending model is formulated in such a way that the calculation could be carried out at all stages of deformation – elastic, beyond elasticity, and up to the formation of through plasticity by the type of plastic hinges. Composite materials are considered for which the generalized Hooke's law is valid in the elastic stage of deformation, and when going beyond the elastic limits, their behavior can be interpreted as ideal plasticity, but taking into account dilatancy. The models of E.V. Lomakin and the author of the presented article were used as plasticity conditions applicable to dilatant materials. In solving specific problems, the advantages of the author's approach to accounting for plastic dilatancy are presented, which is based on the method of deviatoric invariant normalized vector space. The model of plate deformation is limited by a geometrically linear formulation, and the physical picture undergoes a transition from elastic linearity to elastic-plastic nonlinearity during loading. Specific calculations are carried out numerically with the definition of the necessary characteristics of the manifestation of plastic dilatancy and with an assessment of the errors of theories in relation to the author's model.

Keywords: plasticity conditions; plastic dilatancy; geometric linearity; elastic-plastic nonlinearity; numerical interpretation; stress intensity; octahedral normed space; mechanics of deformable solids

For citation: Treshchev A.A. On the development of plastic deformations in rectangular plates considering the dilation of composite materials // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 72-81. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_72.

Введение. Проблемой определения размеров развивающихся зон пластичности и определения предельных состояний элементов конструкций человечество заинтересовалось с тех времен, как только появилась необходимость в деформационно-прочностных расчетах создаваемых объектов, а инженеры научились в зачаточных объемах выполнять проектные работы. Очевидно, что первыми из систематических исследований возникновения пластичности при сложных напряженных состояниях были работы Кулона, Мора, Треска, Сен-Венана, Губера, Мизеса и Генки [1-2]. Большинство исследований, посвященных возникновению и развитию пластичности, были основаны на выдвинутой гипотезе о нежимаемости материала за пределами упругости. Оформившиеся на этой основе теории Треска – Сен-Венана и Губера – Мизеса – Генки обычно называют классическими, которые не зависели от гидростатического напряжения, а пределы текучести изотропных материалов при осевых растяжении и сжатии принимались одинаковыми. Исключением была более ранняя модель Кулона – Мора [1], в которой принималось во внимание различие между пределами текучести при растяжении и сжатии, что косвенно приводило к учету пластической сжимаемости. Надо отдать должное этой теории, как используемой до настоящего времени в механике грунтов.

С развитием техники и расширения круга используемых конструкционных материалов, обладающих отличающимися физико-механическими свойствами от классических, требования к точности расчетов конструкций при упругопластическом деформировании серьезно ужесточились. В этой связи учеными был разработан ряд теорий пластичности изотропных материалов, учитывающих как пластическую сжимаемость, так и зависимость пределов текучести от вида напряженного состояния. Среди этих теорий следует выделить модели К. Шлейхера, И.Н. Миролубова, П.П. Баландина, Г.А. Гениева и В.Н. Киссюк, Друккера – Прагера, Ю.Я. Ягна, Р.Дж. Грина,

Л.А. Толоконникова, Л.К. Лукши, Н.И. Карпенко, Г.С. Писаренко и А.А. Лебедева, А.Е. Цыбулько, М.М. Алиева, Н.Г. Каримова, С.В. Шафиевой [1 – 12]. Несмотря на столь представительный круг разработанных теорий пластичности, учитывающих дилатансию и разнотекучность начально изотропных материалов, абсолютное большинство из них применимы для определенных классов структур, каковыми являются чугуны, бетоны, грунтовые образования, стали и сплавы определенных марок (выплавленные по особым технологиям). Однако при появлении современных полимерных и композитных материалов использование указанных условий пластичности давало сбои в расчетной практике, так как эти теории ориентировались преимущественно на абсолютизацию только двух – трех пределов текучести, установленных в экспериментах, реализующих осевое растяжение, сжатие и сдвиг (чистое кручение тонкостенных трубок). Такой подход не очень-то применим к расчетам упругопластических и предельных состояний пространственных конструкций типа пластин и оболочек, выполненных из полимерных и композитных материалов [13 – 19]. Подробно это обстоятельство также обсуждалось в работе [20]. Там же было продемонстрировано, что в свое время для определения пределов текучести дилатирующих композитных материалов в самом широком диапазоне изменений видов напряженного состояния Ломачинским Е.В. было предложено совершенно иное условие пластичности [15]:

$$F(\sigma_{ij}) = f(\xi^*) \sigma_i = k, \quad (1)$$

где $\sigma_i = \sqrt{3S_{ij}S_{ij}}/2$ – интенсивность напряжений;
 $S_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij}\sigma$ – девиатор тензора напряжений;
 δ_{ij} – параметр Кронекера; $k = \sqrt{3}\tau_s$; τ_s – величина напряжений, соответствующая пределу текучести при сдвиге; $f(\xi^*)$ – непрерывная функция, определяющая зависимость пределов текучести от вида напряженного состояния, опреде-



ляемая путем аппроксимации экспериментальных данных по определению пределов текучести в максимально возможном диапазоне изменения качественной картины напряженного состояния; $\xi^* = \sigma / \sigma_i$ – тангенс угла жесткости напряженного состояния, который и является качественной характеристикой этого состояния; $\sigma = \delta_{ij} \sigma_{ij} / 3$ – среднее напряжение.

Преимущества и недостатки условия (1) детально обсуждались в работах автора [20 – 23] и по-этому здесь повторно не затрагиваются.

Фундаментальные работы по исследованию возникновения и развития зон пластических деформаций, прежде всего, коснулись пластин, выполненных из традиционных материалов, не противоречащих гипотезе несжимаемости и подчиняющихся классическим условиям пластичности Треска – Сен-Венана и Губера – Мизеса – Генки. Среди подобных исследований особо следует выделить монографию [24]. Возможный вариант учета пластической сжимаемости материала тонких пластин и оболочек в рамках классических теорий путем введения переменного коэффициента Пуассона рассмотрен в книге [25]. В представленной же статье рассмотрен вариант влияния на процессы развития упругопластических деформаций в тонких пластинах, выполненных из дилатирующих композитов, пределы текучести которых зависят от реализуемого напряженного состояния с использованием авторской модели.

Используемое условие пластичности для дилатирующих композитов. Как отмечалось в работах автора [20 – 23, 26] для преодоления недостатков модели (1) было сформулировано и широко экспериментально апробировано условие пластичности, опирающееся на методику нормированного векторного пространства октаэдрических напряжений, которое имеет вид:

$$F(\sigma_{ij}) = f(\xi) \tau = k_\tau, \quad (2)$$

где $k_\tau = \sqrt{2/3} \tau_s$; $\tau = \sqrt{S_i S_i} / 3$ – касательное напряжение на октаэдрической площадке ($\tau = \sigma_i \sqrt{2} / 3$); $\xi = \sigma / S_0$ – нормированное нормальное напряжение на октаэдрической площадке, ограниченное в интервале непрерывного изменения ± 1 ; $S_0 = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$ – модуль главного вектора нормирующего пространство.

В публикациях [20 – 23, 26] приведены результаты обработки экспериментальных исследований по пластическому деформированию широкого класса композитов с определением констант пластичности k_τ и функций, их корректирующих в зависимости от вида напряженного состояния $f(\xi)$. Эти параметры и функции встроены в условие (2) для фенопласта АГ-4В, полиметилметакрилата, графито-

композитов ВПП и МПГ-6, поликарбоната и даже – чугуна марки МСЧ38-60 (чтоначально не предусматривалось). Обоснование применимости условия (2) для упругопластического деформирования пространственных конструкций, выполненных с применением этих материалов, анализировалось в работе [20].

В представленной статье условие (2) использовано в рамках построения математической модели упругопластического поперечного изгиба прямоугольных тонких жестких пластин из указанного класса материалов.

Постановка задачи. Рассматривается равновесные состояния тонкой композитной пластины прямоугольного очертания контура $l_1 \times l_2$, толщиной h , материал которой, пластически не инвариантен к виду напряженного состояния. Загружение конструкции осуществляется распределенной поперечной нагрузкой интенсивности q , приложенной к ее верхней плоскости. Пластина привязана к декартовой системе координат x_k ($k = 1, 2, 3$) со срединной плоскостью в осях x_1, x_2 и осью x_3 , ориентированной ортогонально к этой плоскости в сторону прогибов. Геометрические соотношения толщины пластины к минимальному размеру контура приняты в соответствии с требованиями теории тонкостенной конструкции $h/l_2 = b = 1/20$. К модели упругой стадии деформирования пластин полностью применимы гипотезы Кирхгоф – Лява и поэтому геометрические, статические, а также физические соотношения полностью совпадают с классической технической теорией изгиба, приводящей к дифференциальному уравнению Софи Жермен – Лагранжа, так как до выхода за пределы упругости рассматриваемые композиты следуют обобщенному закону Гука, а в этом случае нейтральная поверхность совпадает с деформированной срединной, а эпюры напряжений имеют кососимметричный характер (рис. 1). Несовпадение этих поверхностей проявляется только в случае зависимости характеристик упругости от вида напряженного состояния [27-28], а также при возникновении пластичности, осложненной дилатацией [20]. Вывод уравнения Софи Жермен – Лагранжа и представление всех сопутствующих зависимостей здесь не приводим, так как их можно найти не только в научной литературе, но и в учебной.

В случае преодаления напряжениями предела упругости, материал пластинки переходит в упругопластическую стадию деформирования с развитием эффектов дилатации. Введенная в условие пластичности функция от $\xi = \sigma / S_0$ (2), устанавливает различие между напряжениями, вызывающими пластические деформации в разных точках поперечного сечения пластины, корректируемое видом возникающего напряженного состояния.

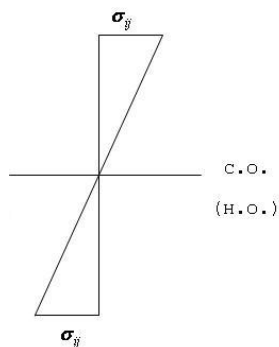


Рис. 1. Эпюры напряжений по толщине пластины при упругом деформировании

Для дальнейших построений введем дополнительные обозначения характерных параметров: A_{ij} – напряжения, соответствующие величине пластических деформаций в нижних волокнах; B_{ij} – напряжения, вызвавшие пластичность в верхних волокнах. В соответствии с этим деформирование материала пластины за пределами упругости подразделяется на две стадии: состояние односторонней пластичности (рис. 2.а) и – двусторонней (рис. 2.б).

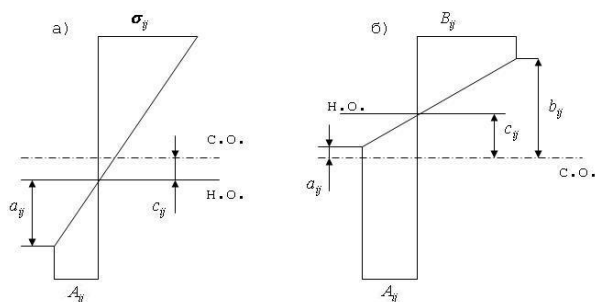


Рис. 2. Эпюры напряжений по толщине пластины при развитии пластичности

Принимая во внимание традиционные гипотезы Кирхгофа технической теории изгиба пластин, выражения для октаэдрических касательных напряжений из условия пластичности (2) упрощаются:

$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 - \sigma_{11}\sigma_{22} + 3\tau_{12}^2}. \quad (3)$$

Выражения для среднего напряжения и модуля полного октаэдрического напряжения также упрощаются:

$$\sigma = (\sigma_{11} + \sigma_{22})/3; \quad S_0 = \sqrt{(\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 + 2\tau_{12}^2)/3}. \quad (4)$$

В момент появления пластических деформаций при их зависимости от вида напряженного состояния в срединной плоскости развиваются деформации удлинения – укорочения ε_{ij} и справедливость предположение теории Кирхгофа о совпадении срединной и нейтральных поверхностей нарушается. Тогда полные деформации в произвольных

точках поперечных сечений пластины, представимы следующим образом:

$$e_{11} = \varepsilon_{11} - x_3 w_{,11}; \quad e_{22} = \varepsilon_{22} - x_3 w_{,22}; \quad (5)$$

где w – прогиб срединной поверхности.

При этом связи напряжений с геометрическими характеристиками изогнутой срединной поверхности в рамках предпосылок Кирхгофа в преобразованном виде можно представить следующими записями:

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= k_{11}(r_{11} - x_3 \cdot \Delta_{11}); & \sigma_{22} &= k_{22}(r_{22} - x_3 \cdot \Delta_{22}); \\ \tau_{12} &= k_{12}(r_{12} - x_3 \cdot \Delta_{12}), \end{aligned} \quad (6)$$

где $k_{11} = k_{22} = E/(1 - \nu^2)$; $k_{12} = E/(1 + \nu)$;

$$\Delta_{11} = w_{,11} + \nu w_{,22}; \quad \Delta_{22} = w_{,22} + \nu w_{,11}; \quad \Delta_{12} = w_{,12};$$

$$r_{11} = \varepsilon_{11} + \nu \varepsilon_{22}; \quad r_{22} = \varepsilon_{22} + \nu \varepsilon_{11}; \quad r_{12} = \varepsilon_{12}.$$

Общий вид модифицированных уравнений связи (6) представим следующей формой:

$$\sigma_{ij} = k_{ij}(r_{ij} - x_3 \cdot \Delta_{ij}); \quad (i, j = 1, 2), \quad (7)$$

(по индексам в уравнении (7) не суммировать).

Положение нейтральной поверхности можно определить одним из двух способов. Первый способ основан на том, что при смещении нейтральных поверхностей может приводить к индизированию мембранных усилий в срединной плоскости и тогда помимо уравнений равновесия моментов необходимо дополнительно привлекать статические условия усилий, что рассмотрено в работе [27]. Второй способ при смещении нейтральной поверхности все же предполагает отсутствие мембранных усилий, то есть – равенства нулю интегралов от напряжений по толщине пластины, что использовано в работе [28]. Оба подхода имеют право на существование, так как выбор одного из них практически не влияет на результаты определения основных параметров НДС пластин при малых прогибах.

Таким образом, величину смещения нейтральной поверхности определим исходя из условия, что при $x_3 = c_{ij}$, $\sigma_{ij} = 0$ (см. рис. 2) и поэтому имеем:

$$c_{ij} = r_{ij} / \Delta_{ij}. \quad (8)$$

Координаты a_{ij} , которые обозначают границы начала развития пластической зоны, можно вычислить из условия, что при $x_3 = a_{ij}$, $\sigma_{ij} = A_{ij}$. То есть

$$a_{ij} = (k_{ij} \cdot r_{ij} - A_{ij}) / (k_{ij} \cdot \Delta_{ij}). \quad (9)$$

В данном случае параметры r_{ij} определим в предположении об отсутствии мембранных усилий $N_{ij} = 0$ [28]:

$$N_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{ij} dx_3 = \int_{-h/2}^{a_{ij}} \sigma_{ij} dx_3 + \int_{a_{ij}}^{h/2} A_{ij} dx_3 = 0. \quad (10)$$



Результатами интегрирования напряжений (7) в соответствии с правилами (10) являются уравнения для определения параметров r_{ij} :

$$P_1 \cdot r_{11}^2 + V_1 \cdot r_{11} + U_1 = 0; \quad P_2 \cdot r_{22}^2 + V_2 \cdot r_{22} + U_2 = 0; \\ P_3 \cdot r_{12}^2 + V_3 \cdot r_{12} + U_3 = 0, \quad (11)$$

где $P_1 = k_{11} / 2\Delta_{11}$; $V_1 = -(k_{11}h/2 + A_{11} / \Delta_{11})$;

$$U_1 = k_{11}\Delta_{11}h^2 / 8 - A_{11}h/2 + A_{11} / (2k_{11}\Delta_{11});$$

$$P_2 = k_{22} / 2\Delta_{22}; \quad V_2 = -(k_{22}h/2 + A_{22} / \Delta_{22});$$

$$U_2 = k_{22}\Delta_{22}h^2 / 8 - A_{22}h/2 + A_{22} / (2k_{22}\Delta_{22});$$

$$P_3 = k_{12} / 4\Delta_{12}; \quad V_3 = -(k_{12}h/2 + A_{12} / 2\Delta_{12});$$

$$U_3 = k_{12}\Delta_{12}h^2 / 4 - A_{12}h/2 + A_{12} / (4k_{12}\Delta_{12}).$$

Выражения для моментов определяются традиционным способом:

$$M_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{ij} x_3 dx_3 = \int_{-h/2}^{a_{ij}} \sigma_{ij} x_3 dx_3 + \int_{a_{ij}}^{h/2} A_{ij} x_3 dx_3. \quad (12)$$

В результате интегрирования напряжений по толщине пластины получим:

$$M_{ij} = C_{ij} + D_{ij}\Delta_{ij}, \quad (13)$$

где $C_{ij} = (h^2 / 4 - a_{ij}^2) \cdot (k_{ij}r_{ij} - A_{ij}^2) / 2$;

$$D_{ij} = -k_{ij}(a_{ij}^3 + h^3 / 8) / 3.$$

Используя дифференциальное уравнение равновесия пластины $M_{11,11} + M_{22,22} + 2M_{12,12} = q$ в совокупности с выражениями для моментов (13), получим

$$D_{11}\Delta_{11,11} + D_{22}\Delta_{22,22} + 2D_{12}\Delta_{12,12} = q. \quad (14)$$

Рассматривая деформирование пластины в случае развития двусторонней пластичности, следует указать, что координаты c_{ij} и a_{ij} как и в предыдущем случае вычисляются по правилам (8) и (9), а границу начала зоны b_{ij} следует рассчитывать по определению, что при $x_3 = b_{ij}$, $\sigma_{ij} = B_{ij}$ (см. рис. 26):

$$b_{ij} = (k_{ij}r_{ij} - B_{ij}) / k_{ij}\Delta_{ij}. \quad (15)$$

Функции r_{ij} как и прежде устанавливаются при условии $N_{ij} = 0$, но в более развернутом виде:

$$N_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{ij} dx_3 = \int_{b_{ij}}^{a_{ij}} \sigma_{ij} dx_3 + \int_{a_{ij}}^{h/2} A_{ij} dx_3 + \int_{-h/2}^{b_{ij}} B_{ij} dx_3 = 0. \quad (16)$$

Откуда получим уравнения для расчета параметров r_{ij} :

$$r_{11} = (A_{11} + B_{11}) / 2k_{11} - h\Delta_{11}(A_{11} + B_{11}) / 2(A_{11} - B_{11}); \\ r_{22} = (A_{22} + B_{22}) / 2k_{22} - h\Delta_{22}(A_{22} + B_{22}) / 2(A_{22} - B_{22}); \quad (17) \\ r_{12} = (A_{12} + B_{12}) / 2k_{12} - h\Delta_{12}(A_{12} + B_{12}) / (A_{12} - B_{12}).$$

Моменты в этом случае определяются суммой интегралов:

$$M_{ij} = \int_{-h/2}^{b_{ij}} B_{ij} x_3 dx_3 + \int_{b_{ij}}^{a_{ij}} \sigma_{ij} x_3 dx_3 + \int_{a_{ij}}^{h/2} A_{ij} x_3 dx_3, \quad (18)$$

или

$$M_{ij} = R_{ij} + F_{ij}\Delta_{ij}, \quad (19)$$

$$R_{ij} = B_{ij}(b_{ij}^2 - h^2 / 4) / 2 - A_{ij}(h^2 / 4 - a_{ij}^2) / 2 + \\ + k_{ij}r_{ij}(a_{ij}^2 - b_{ij}^2) / 2; \\ F_{ij} = -k_{ij}(a_{ij}^3 - b_{ij}^3) / 3.$$

Тогда использование статических условий моментов сводится к дифференциальному уравнению изгиба пластины с учетом возникновения двусторонней пластичности:

$$F_{11}\Delta_{11,11} + F_{22}\Delta_{22,22} + 2F_{12}\Delta_{12,12} = q. \quad (20)$$

Граничные условия представляются в традиционном виде.

Таким образом, дифференциальные уравнения (14) и (20) описывают деформирование пластин, выполненных из пластически дилатирующих материалов в трех стадиях НДС. При этом в случае $a_{ij} = h/2$, $b_{ij} = -h/2$ уравнения принимают форму модели Софи Жермен – Лагранжа, справедливую только для упругого деформирования.

Расчет поперечного изгиба квадратных в плане пластин за пределами упругости и анализ полученных результатов. Реализация полученной математической модели деформирования пластины в упругой стадии и за пределами упругости осуществляется численно конечно-разностным методом. Срединная плоскость квадратной пластины при этом покрывалась сеткой с квадратными ячейками. При этом переход от производных функций к их разностным шаблонам производилось в три этапа. Первый этап относится к упругой стадии работы материала пластины и интерпретация конечными разностями касается уравнения Софи Жермен – Лагранжа. Второй этап связан с возникновением односторонней пластичности, а конечно-разностная аппроксимация применяется к уравнению (14). Третий этап соответствует возникновению и развитию двусторонней пластичности, когда численная обработка применяется к уравнению (20). В результате получаем системы алгебраических уравнений, решение которых осуществляется методом Гаусса. В результате решения этих систем уравнений, были получены распределения прогибов, деформаций и напряжений во всех точках разбиения плана пластины и по толщине как в упругой стадии, так и в процессе развития пластических деформаций.

Ясно, что первичное возникновения пластических деформаций с последующим развитием областей течения материала пластины определяется величиной инварианта τ (3), входящего в условие (2). Поэтому габариты зон пластичности не являются отдельными функциями эффективных напряжений σ_{11} , σ_{22} и τ_{12} , а определяются единым условием (2). В связи с этим в место дифференцированных парамет-



ров границ этих зон (9), (15) имеем равенства: $a_{11} = a_{22} = a_{12}$; $b_{11} = b_{22} = b_{12}$.

Численная процедура решения рассматриваемой задачи дополняется отказом от аналитического вычисления величин r_{11} , r_{22} , r_{12} , что приводит к следующей последовательности операций: а) пластина в поперечных сечениях членится на одинаковые слои с расчетными точками между ними, в количестве, определяемом критерием точности расчетов; б) в верхних и нижних точках сечений устанавливается левая часть условия (2); в) оценивается срабатывание критерия возникновения пластичности $f(\xi) \cdot \tau \geq k_t$; г) в случае справедливости этого неравенства выполняется переход к следующей по толщине сечения пластины точке в каждом узле конечно-разностной сетки и эта процедура выполняется до нарушения неравенства. Точки, в которых произойдет срабатывание критерия, определяют координаты границы зоны пластичности a или b , в соответствии с тем у какой плоскости пластины началась итерация.

Далее после установления границ a и b рассчитываются параметры r_{11} , r_{22} , r_{12} из уравнений (11) в случае возникновения односторонней пластичности

$$\begin{aligned} r_{11} &= \frac{\Delta_{11}}{2} \left(a - \frac{h}{2} \right) - \frac{A_{11}(h/2 - a)}{k_{11}(h/2 + a)}; \\ r_{22} &= \frac{\Delta_{22}}{2} \left(a - \frac{h}{2} \right) - \frac{A_{22}(h/2 - a)}{k_{22}(h/2 + a)}; \\ r_{12} &= \Delta_{12} \left(a - \frac{h}{2} \right) - \frac{A_{12}(h/2 - a)}{k_{12}(h/2 + a)}, \end{aligned} \quad (21)$$

или из зависимостей (17), когда развивается двусторонняя пластичность.

$$\begin{aligned} r_{11} &= \frac{\Delta_{11}}{2} (a + b) + \frac{A_{11}(h/2 - a) + B_{11}(h/2 + b)}{k_{11}(b - a)}; \\ r_{12} &= \Delta_{12} (a + b) + \frac{A_{12}(h/2 - a) + B_{12}(h/2 + b)}{k_{12}(b - a)}; \\ r_{22} &= \frac{\Delta_{22}}{2} (a + b) + \frac{A_{22}(h/2 - a) + B_{22}(h/2 + b)}{k_{22}(b - a)}. \end{aligned} \quad (22)$$

После определения параметров r_{11} , r_{22} , r_{12} вычисляются характеристики C_{11} , C_{22} , C_{12} , D_{11} , D_{22} , D_{12} , а при двухсторонней пластичности – и R_{11} , R_{22} , R_{12} , F_{11} , F_{22} , F_{12} . Подобные вычисления проводятся для каждого узла конечно-разностной сетки с последующим решением системы алгебраических уравнений с определением всех необходимых параметров. Расчет производится итерационными приближениями до необходимой точности (с погрешностью до 0,01% по прогибам в смежных вычислениях) пошагово с последовательным увеличением нагрузки.

Итерационный алгоритм достаточно тривиален и поэтому здесь не приводится. При этом ясно, что на первом этапе реализуется линейно-упругий расчет поперечного изгиба пластины, а при первом срабатывании критерия пластичности, в этой точке данный факт рассматривается в виде нулевого приближения. При этом в анализируемом узле, если для предыдущего НДС пластические деформации уже возникли, нулевым приближением представляются значения характеристик, вычисленные из предыдущего этапа расчета. Этот обобщенный алгоритм реализован в программной среде «Matlab».

Расчету подлежали квадратные пластины, выполненные из многих композитных материалов типа полиметилметакрилата, фенопласта АГ-4В, графитокомпозитов двух марок ВПП, МПГ-6 и, даже из таких традиционных моно материалов как чугун маркам МСЧ 38-60, который имеет достаточный малый ресурс пластичности. Здесь приведем результаты расчета пластин, выполненных только из полиметилметакрилата, модуль упругости которого составляет $E=3300$ МПа, а коэффициент Пуассона – $\nu=0,3$. Для сравнительного анализа расчеты производились с учетом трех моделей условий пластичности. В первом случае принималось условие пластичности автора (2) (модель «Т»), согласно которого параметры предела текучести при сдвиге и функция коррекции пластических свойств от вида напряженного состояния получены в работах [22 – 23]: $k_t = 58,9$ МПа; $f(\xi) = \exp(A_1 \xi)$; $A_1 = 0,424$. Во втором варианте расчета применено предельное условие (1), предложенное Е.В.Ломакиным [15] (модель «Л»), согласно которому имеем: $k = 125$ МПа; $f(\xi^*) = \exp(A_2 \xi^*)$; $A_2 = 0,6$. Третий вариант расчета, выполнялся в рамках традиционной модели пластичности Губера-Мизеса-Генки, для которой $f(\xi^*) = f(\xi) = 1$, то есть, пренебрегая пластической сжимаемостью материала и зависимостью пределов текучести от вида напряженного состояния (модель «ГМГ»).

Толщина квадратных пластин принималась равной 40 мм, а их размеры в плане – 800×800 мм. План пластин сопрягался с сеткой размером 20×20 ячеек, что обеспечивало необходимую точность расчета с погрешностью не более 0,01% по прогибам. Сетка расчетной схемы представлена на рис. 3, где рассмотрены расчетные сечения для построения характерных картин распределения расчетных параметров. Интенсивность поперечной нагрузки прикладывалась к пластине шагам величиной 10 кПа при упругом деформировании, а при возникновении пластичности уменьшалась до 1 кПа.

Рассмотрим результаты расчета упругопластического деформирования квадратной пластины из полиметилметакрилата (ПММК) при шарнирном опирании. Первоначально сведем в табл. 1 вели-



чины интенсивности нагрузок, вызывающих появление пластических деформаций на верхней и на нижней поверхностях пластины, а также – приводящих к сквозной пластичности на всю толщину (предельное состояние перед разрушением). В табл. 1 в скобках приведены номера точек на расчетной схеме (см. рис. 3), в которых появилась пластичность.

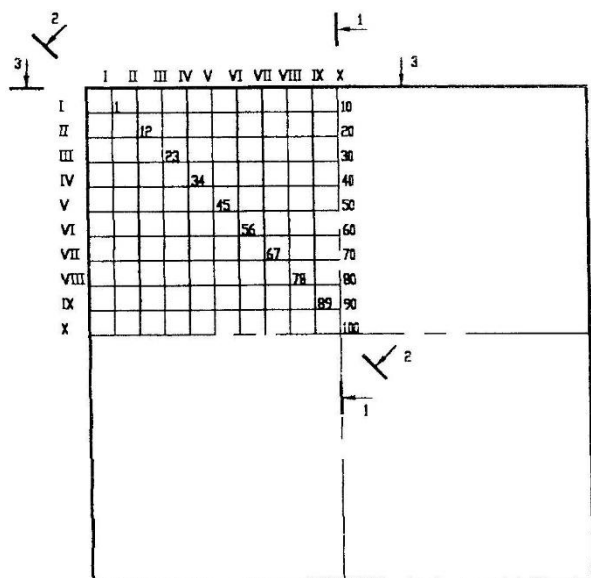


Рис. 3. Расчетная схема пластины

Таблица 1 – Возникновение пластичности в шарнирно опертой пластине ПММК

Вариант модели условия пластичности	Интенсивность нагрузки, вызывающая появление пластичности на поверхности, МПа		Интенсивность нагрузки, приводящая к сквозной пластичности, МПа
	верхней	нижней	
«Т»	0.88 (1)	0.61 (100)	1.06
«Л»	0.77 (1)	0.76 (100)	1.10
«ГМГ»	1.14 (100)	1.14 (100)	1.87

Числовые параметры расчетов, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что интенсивность поперечной равномерно распределенной нагрузки, вызывающая появление пластических деформаций на нижней плоскости, соответствующая модели «Т» отличается от предсказаний варианта «ГМГ» на 86%, а расчеты, соответствующие условию «Л» – на 50%. Различие в этих показателях между «Т» и «Л» составляют 19,7% (предсказания «Т» дают меньшую величину нагрузки), а сущность срабатывания условий пластичности для всех моделей одинакова (начало срабатывания всех трех условий происходит в точке 100, соответствующей центру пластины).

Совершенно иная качественная картина возникновения пластических деформаций наблюдается на верхней плоскости. Здесь характер появления пластичности в моделях «Т» и «Л» практически одинаков, так как происходит у угловой точке 1, а в мо-

дели «ГМГ» кардинально отличается, что соответствует исследованиям [24] (пластичность возникает по-прежнему в центральной точке 100). Интенсивности нагрузок, вызывающих первичную пластичность на верхней плоскости по величине предсказаний «Т» отличается от «ГМГ» на 30%, а данные «Л» имеют не совпадение с третьим вариантом на 18%. Отличия расчетных параметров здесь между «Т» и «Л» составляют 13%.

При достижении предельных состояний, когда возникает сквозная пластичность предсказание теории «Т» отличается от «ГМГ», которая не учитывает пластическую сжимаемость и зависимость пределов текучести от вида напряженного состояния, на 76,4% (вариант «ГМГ» дает завышение предельной нагрузки). Подобные различия между вариантами «Л» и «ГМГ» несколько меньше, но в том же направлении до 43%. Различие в предсказаниях предельных нагрузок между моделями «Т» и «Л» малы, достигая 4% (вариант «Л» дает небольшой завышение).

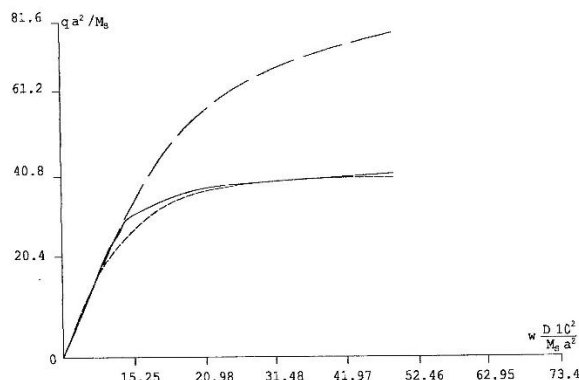


Рис. 4. Зависимости максимального прогиба от интенсивности нагрузки q

Для иллюстрации полного процесса упруго-пластического деформирования пластин на рис. 4 приведем графики зависимости безразмерных максимальных прогибов в точке 100 пластины $w \cdot D \cdot 10^2 / M_s \cdot a^2$ от величины безразмерной интенсивности поперечной нагрузки $q \cdot a^2 / M_s$, где D – цилиндрическая жесткость; $M_s = k_t \cdot W$, W – момент сопротивления изгибу; $a = l_1$ – размер контура пластины. На этом рисунке сплошная линия демонстрирует прогибы, полученные благодаря расчету по модели «Т», штриховая с коротким штрихом – по «Л», с длинным штрихом – по «ГМГ». Графические представления свидетельствуют о том, что после исчерпания минимального предела упругости «Т» по сравнению с «Л» имеются незначительные расхождения в процессе деформирования до 5%, а далее, когда были впервые достигнуты соответствующие пределы пластичности, график сближаются до полного совпадения. При этом очевидны серьезные различия в процессах упругопластического деформиро-

ния, предсказываемых моделями «Т» и «Л» по сравнению с «ГМГ», достигая в зонах развитой пластичности 90% по величинам максимальных прогибов.

Для оценки количественно-качественных картин возникновения и развития пластических деформаций приведем виды областей пластичности, возникающих на нижних и верхних поверхностях пластин при некоторых величинах нагрузки для рассмотренных моделей (пластические области заштрихованы). Так на рис. 5 – 10 приведены результаты расчета этих картин на поверхностях пластин, полученные на основе моделей «Т» и «Л», а на рис. 11, 12 представлены границы проникновения текучести по глубине пластин (сплошные линии соответствуют границам зон пластичности для модели «Т», штриховые – для модели «Л»).

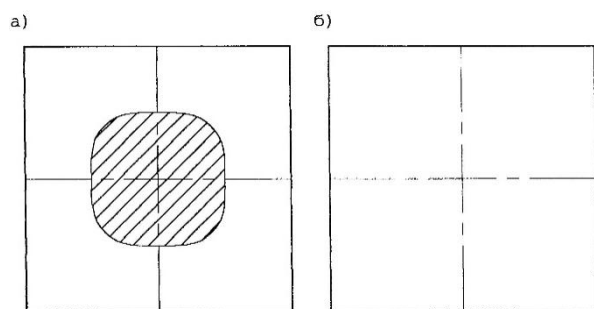


Рис. 5. Границы пластических зон по поверхностям пластины по модели «Т», нагрузка $q=0,85$ МПа:

а – по нижней поверхности; б – по верхней поверхности

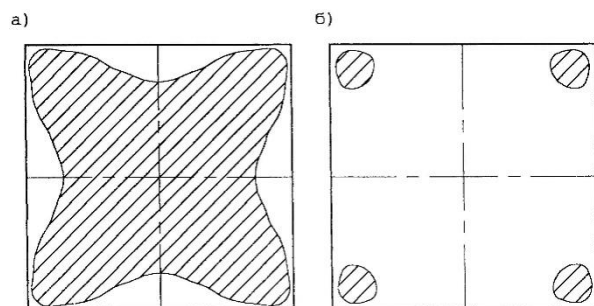


Рис. 6. Границы пластических зон по поверхностям пластины по модели «Л», нагрузка $q=0,85$ МПа:

а – по нижней поверхности; б – по верхней поверхности

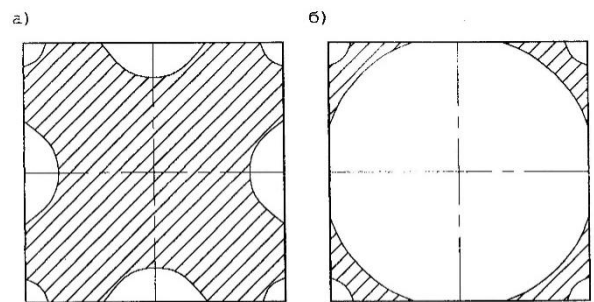


Рис. 7. Развитие зон пластических деформаций по поверхностям пластины, полученное при расчете по модели «Т» и при интенсивности поперечной нагрузки $q=0,95$ МПа:

а – по нижней поверхности; б – по верхней поверхности

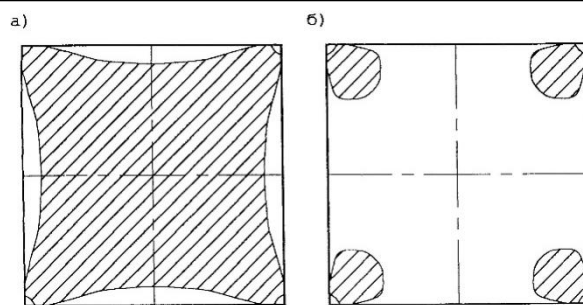


Рис. 8. Развитие зон пластических деформаций по поверхностям пластины, полученное при расчете по модели «Л» и при интенсивности поперечной нагрузки $q=0,95$ МПа:

а – по нижней поверхности; б – по верхней поверхности

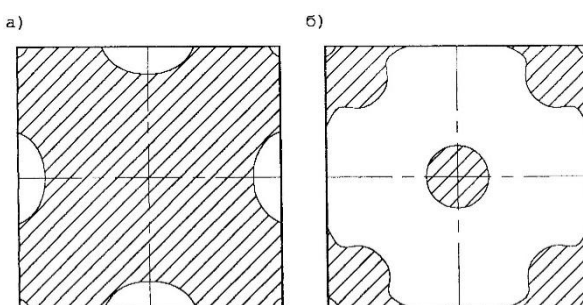


Рис. 9. Развитие зон пластических деформаций по поверхностям пластины, полученное при расчете по модели «Т» и при интенсивности поперечной нагрузки $q=1,03$ МПа:

а – по нижней поверхности; б – по верхней поверхности

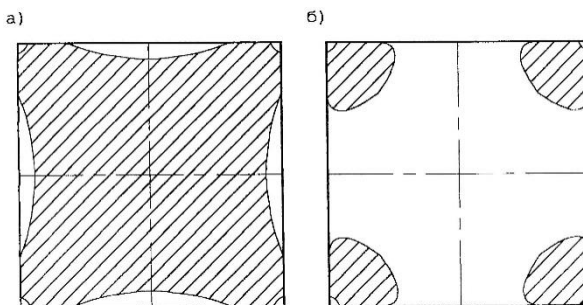


Рис. 10. Развитие зон пластических деформаций по поверхностям пластины, полученное при расчете по модели «Л» и при интенсивности поперечной нагрузки $q=1,03$ МПа:

а – по нижней поверхности; б – по верхней поверхности

Анализируя тенденции в распространении областей пластичности на лицевых поверхностях пластины можно заметить, что при интенсивности нагрузки в 0,85 МПа возникают качественные отличия в контурах этих зон между вариантами решения «Т» и «Л». Рост поперечной нагрузки приводит к сближению качественных картин развития пластических деформаций на поверхностях, соответствующих решению «Т» и «Л», но при сохранении различия в размерах зон. Вид зон развития пластичности на верхней плоскости между вариантами «Т» и «Л» сохраняет качественные различия при расхождении в



количественных параметров. Наиболее выраженная разница указанных областей возникает при величине интенсивности поперечной нагрузки 1,03 МПа, так как решение «Т» демонстрирует область пластичности не только в угловых зонах плана, но и в центре, чего не наблюдается в случае решения «Л».

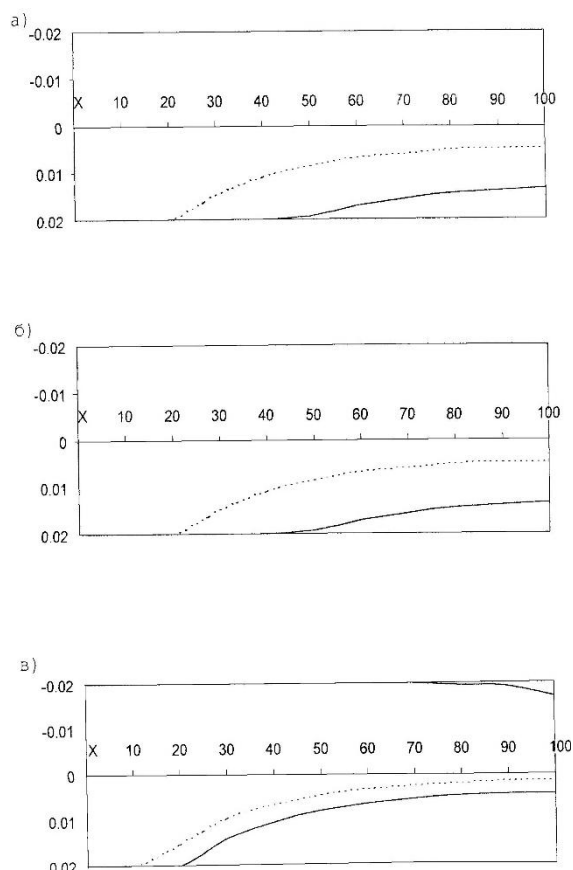


Рис. 11. Границы зон пластичности по глубине сечения 1–1 при величинах интенсивности нагрузки q : а – 0,85 МПа; б – 0,95 МПа; в – 1,03 МПа

Что касается развития зон пластичности по толщине пластины, то при величине интенсивности поперечной нагрузки 0,85 МПа в двух моделях («Т» и «Л») имеют подобный вид, но с количественными отличиями по глубине до 20%. Рост внешней нагрузки ведет к тенденции сближения границ пластических зон так, что при интенсивности в 1,03 МПа для отдельных точек сечений пластины имеются их совпадения.

Для демонстрации более полной картины влияния развития пластической дилатации на параметры НДС пластин на рис. 13 приведем графические представления об изменении безразмерной величины изгибающего момента M_{22}/M_5 по мере роста безразмерной интенсивности поперечной нагрузки $q \cdot a^2 / M_5$ в центре плана пластинки.

Очевидно (см. рис. 13), что характер изменения максимальных моментов с ростом нагрузки в ва-

риантах «Т» и «Л» подобен с разницей величин не более 10%. Модель решения «ГМГ» демонстрирует существенные различия в величинах моментов при развитии пластических деформаций по сравнению с вариантами «Т» и «Л», достигая 85%.

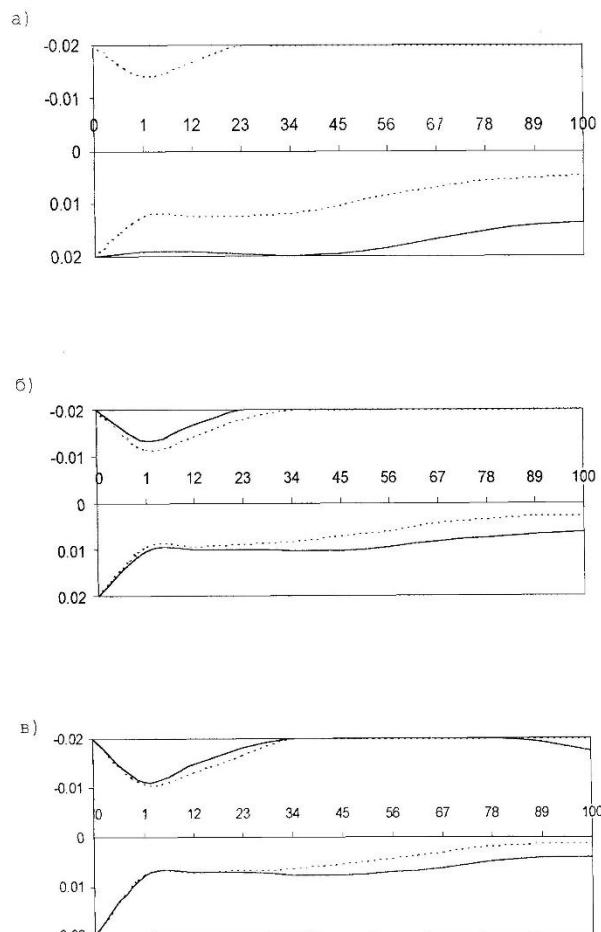


Рис. 12. Границы зон пластичности по глубине сечения 2–2 при величинах интенсивности нагрузки q : а – 0,85 МПа; б – 0,95 МПа; в – 1,03 МПа

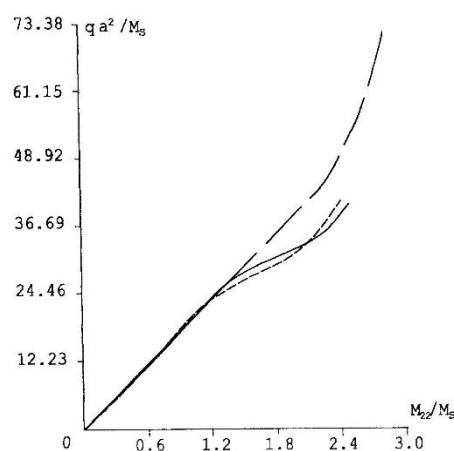


Рис. 13. Зависимости между безразмерными максимальными изгибающими моментами и величиной интенсивности нагрузки



Что касается тенденций развития зон пластичности по поверхностям и по толщине пластины для варианта «ГМГ», то необходимо отметить следующее: а) характер развития и размеры этих зон на верхней и нижней плоскостях полностью совпадают как по виду, так и по величинам; б) вид и размеры границ проникновения пластичности по толщине пластин строго симметричны относительно срединной плоскости. Полные картины развития пластических деформаций в пластинах и результаты их расчетов по модели «ГМГ» широко представлены в монографии [24], и здесь не приводятся.

Библиографический список

1. Писаренко Г.С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии / Г.С. Писаренко, А.А. Лебедев. – Киев: Наукова думка, 1976. – 416 с.
2. Гольденблат И.И. Критерии прочности конструктивных материалов / И.И. Гольденблат, В.А. Копнов. – М.: Машиностроение, 1968. – 192 с.
3. Миролюбов И.Н. К вопросу об обобщении теории прочности октаэдрических касательных напряжений на хрупкие материалы / И.Н. Миролюбов // Труды ЛТИ. – 1953. – Вып. 25. – С. 42 – 52.
4. Баландин П.П. К вопросу о гипотезах прочности / П.П. Баландин // Вестник инженеров и техников. – 1937. – № 1. – С. 37 – 41.
5. Гениев Г.А. К вопросу обобщения теории прочности бетона / Г.А. Гениев, В.Н. Киссюк // Бетон и железобетон. – 1965. – № 2. – С. 16 – 19.
6. Ягн Ю.И. Прочность и пластичность модифицированного чугуна при различных напряженных состояниях / Ю.И. Ягн, В.В. Евстратов // Докл. АН СССР. – 1957. – Т. 113. – №3. – С. 573–575.
7. Green R.J. A plasticity theory for porous solid / R.J. Green // Int. J. Mech. Sci. – Vol.14. – 1972. – P. 215 – 227.
8. Толоконников Л.А. О форме предельной поверхности изотропного тела / Л.А. Толоконников // Прикладная механика. – 1969. – Вып. 10. – Том 5. – С. 123 – 126.
9. Лукша Л.К. К теории прочности / Л.К. Лукша // Докл. АН БССР. – 1963. – Т. 7. – №5. – С. 301–304.
10. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
11. Цыбулько А.Е. Критерий прочности изотропных материалов / А.Е. Цыбулько, Е.А. Романенко // Вестник машиностроения. – 2009. – № 2. – С. 34 – 36.
12. Алиев М.М. Новый подход к разработке полиномиальных критериев прочности для изотропных полимеров и горных пород / М.М. Алиев, Н.Г. Каримова, С.В. Шафиева // Известия вузов «Нефть и газ». – 2009. – № 3. – С. 77 – 82.
13. Айнбиндер С.Б. Влияние гидростатического давления на механические свойства полимерных материалов / С.Б. Айнбиндер, М.Г. Лака, И.Ю. Майорс // Механика полимеров. 1965. № 1. – С. 65 – 75.
14. Сопротивление деформированию и разрушению изотропных графитовых материалов в условиях сложного напряженного состояния / А.В. Березин и др. // Проблемы прочности. 1979. № 2. – С. 60 – 65.
15. Ломакин Е.В. Зависимость предельного состояния композитных и полимерных материалов от вида напряженного состояния / Е.В. Ломакин // Механика композитных материалов. – 1988. – № 1. – С. 3 – 9.
16. Фридман А.М. Исследование разрушения углеграфитовых материалов в условиях сложного напряженного состояния / А.М. Фридман, Ю.П. Ануфриев, В.Н. Барабанов // Проблемы прочности. – 1973. – №1. – С. 52–55.
17. Жуков А.М. Прочностные свойства полиметилметакрилата при двухосном растяжении / А.М. Жуков // Инж. сб. – 1960. – Т. 1. – Вып. 2. – С. 200 – 204.
18. Гольдман А.Я. Прочность конструкционных пластмасс / А.Я. Гольдман. – Л.: Машиностроение, 1979. – 320 с.
19. Айнбиндер С.Б. Свойства полимеров при высоких давлениях / С.Б. Айнбиндер, К.И. Алксне, Э.Л. Тюпина, М.Г. Лака. – М., 1973.
20. Трещев А.А. О дилатации гибких круглых пластин из композитных материалов за пределами упругости / А.А. Трещев, А.А. Бобрышев // Эксперт: Теория и практика. – 2025. – №1(28). – С. 194 – 204.
21. Трещев А.А. Теория деформирования и прочности разносопротивляющихся материалов / А.А. Трещев. – Тула: ТулГУ, 2020. – 359 с.
22. Трещев А.А. Зависимость предельных состояний конструкционных материалов от вида напряженного состояния / А.А. Трещев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1999. – №10. – С. 9–18.
23. Трещев А.А. К теории пластичности дилатирующих разносопротивляющихся материалов / А.А. Трещев // Проблемы машиностроения и автоматизации. – Международный журнал. – 2003. – №2. – С. 58–62.
24. Стрельбицкая А.И., Колгадин В.А., Матошко С.И. Изгиб прямоугольных пластин за пределом упругости / А.И. Стрельбицкая, В.А. Колгадин, С.И. Матошко. – Киев: Наукова думка, 1971. – 244 с.
25. Енджиевский Л.В. Нелинейные деформации ребристых оболочек / Л.В. Енджиевский. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1982. – 296 с.
26. Божанов П.В. Определение прочностных критериев при возникновении пластических деформаций в поликарбонате / П.В. Божанов, А.А. Трещев // Инновации и инвестиции. – 2018. – №12. – С. 323–326.
27. Трещев А.А. Поперечный изгиб прямоугольных пластин, выполненных из материалов, механические характеристики которых зависят от вида напряженного состояния / А.А. Трещев // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1988. – №1. – С. 25–29.
28. Петров В.В. Изгиб прямоугольных пластин из нелинейно-упругого разносопротивляющегося растяжению и сжатию материала / В.В. Петров, А.Ф. Макеев, И.Г. Овчинников // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1980. – №8. – С. 42–47.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 15.08.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 15.08.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.

Научная статья

УДК: 615.477.2:691 + 69

ГРНТИ: 67.09 Строительство и архитектура; 76.09 Медицинские материалы, средства и изделия

doi:10.51608/26867818_2025_3_82

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ КОЖИ РУК В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОТ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ, ЦЕМЕНТА, БИТУМА, МАЗУТА, РАСТВОРИТЕЛЕЙ

© Авторы 2025

SPIN: 2275-9314

СВЕТЛОВ Даниил Дмитриевич

магистр, биотехнолог

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(Россия, Санкт-Петербург, e-mail: svetlov-dan@mail.ru)*

SPIN: 5677-4930

НАЗАРОВА Виктория Владимировна

кандидат технических наук, доцент кафедры естествознания и географии
*Ленинградский государственный университет
имени А. С. Пушкина*

(Россия, Санкт-Петербург, e-mail: vvnazarova@yandex.ru)

SPIN: 4476-8066

СВЕТЛОВ Дмитрий Анатольевич

кандидат технических наук, генеральный директор

ООО «Софт Протектор»

(Россия, Санкт-Петербург, e-mail: teflex@list.ru)

ХАРЛАНОВА Анастасия Андреевна

бакалавр

*Ленинградский государственный университет
имени А. С. Пушкина*

(Россия, Санкт-Петербург, e-mail: awh2.4@yandex.ru)

Аннотация. Контакт кожи рук с агрессивными строительными материалами, такими как цемент, гипс, битум, мазут, органические растворители и другими загрязняющими веществами, остаётся одной из наиболее значимых профессиональных проблем в строительной отрасли. Воздействие этих факторов приводит к химическим ожогам, микротравмам, нарушению барьерных свойств кожи, повышая риск инфицирования и развития профессиональных дерматозов. Согласно международным протоколам, включая OECD 404, регулярный контакт с агрессивными веществами значительно увеличивает распространённость профессиональных заболеваний кожи.

Особую опасность представляет контакт с влажным цементом, обладающим высокой щёлочностью (pH ~12), что способствует возникновению острых воспалительных реакций и хронических дерматитов. Воздействие битума и мазута нарушает липидный слой кожи, вызывая её иссушение, трещины и микроразрывы, а органические растворители дополнительно усугубляют ситуацию. Такие повреждения кожи не только вызывают дискомфорт и временную нетрудоспособность, но и увеличивают риск бактериальных и грибковых инфекций.

В странах Европейского Союза и США подобные профессиональные риски активно нивелируются с помощью специализированных барьерных кремов и защитных покрытий с добавлением активных компонентов — цинка, аллантоина, силиконовых полимеров. В Российской Федерации применение аналогичных средств носит ограниченный характер, что подчёркивает необходимость изучения и внедрения современных отечественных решений.

Целью настоящей работы является исследование защитных, антимикробных и ранозаживляющих свойств многокомпонентного состава на основе модифицированного сополимера гуанидина «Тефлекс А», дополненного рядом биологически активных компонентов. В состав препарата вошли глицерин, гуаровая камедь, слизистый экстракт улитки (*Achatina fulica*), ацидофильные лактобактерии и колипротейный бактериофаг. Предполагается, что данная композиция обладает потенциалом не только эффективно защищать кожу от воздействия агрессивных химических веществ, но и стимулировать процессы регенерации тканей, а также препятствовать развитию бактериальных осложнений.

В рамках проведённой работы поставлена задача оценки эффективности предложенного состава при воздействии различных агрессивных факторов в условиях модельных *in vitro* и *in vivo* экспериментов. Особое внимание уделяется исследованию способности состава снижать раздражающее действие цементосодержащих растворов, битума, мазута и органических растворителей, а также его способности ускорять заживление ран и подавлять рост патогенных микроорганизмов.



Ключевые слова: антибактериальный эффект; защита кожи рук; антисептический препарат; дезинфицирующее средство антисептик «Тефлекс А»

Для цитирования: Исследование защитного средства для кожи рук в строительстве от негативного воздействия микроорганизмов, цемента, битума, мазута, растворителей / Д.Д. Светлов, В.В. Назарова, Д.А. Светлов, А.А. Харланова // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 82-87. doi:10.51608/26867818_2025_3_82.

Original article

RESEARCH ON HAND SKIN PROTECTION AGENT FROM NEGATIVE EFFECTS OF MICROORGANISMS, CEMENT, BITUMEN, FUEL OIL, AND SOLVENTS IN CONSTRUCTION

© The Author(s) 2025

SVETLOV Daniil Dmitrievich

Master's degree in Biotechnology

SPbPU Peter the Great (Russia, Saint Petersburg)

NAZAROVA Victoria Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Natural Sciences and Geography

SAEI HE LSU named after A.S. Pushkin (Russia, Saint Petersburg)

SVETLOV Dmitry Anatolyevich

Candidate of Technical Sciences, General Director

Soft Protector LLC (Russia, Saint Petersburg)

KHARLANOVA Anastasia Andreevna

Bachelor

SAEI HE LSU named after A.S. Pushkin (Russia, Saint Petersburg)

Abstract. Hand skin contact with aggressive building materials such as cement, gypsum, bitumen, fuel oil, organic solvents, and other pollutants remains one of the most significant professional problems in the construction industry. Exposure to these factors leads to chemical burns, microtrauma, and disruption of the barrier properties of the skin, increasing the risk of infection and the development of occupational dermatoses. According to international protocols, including OECD 404, regular contact with aggressive substances significantly increases the prevalence of occupational skin diseases. Contact with wet cement, which has a high alkalinity (pH ~12), is particularly dangerous, which contributes to the occurrence of acute inflammatory reactions and chronic dermatitis. Exposure to bitumen and fuel oil disrupts the lipid layer of the skin, causing it to dry out, crack, and micro-damage, and organic solvents further aggravate the situation. Such skin lesions not only cause discomfort and temporary disability but also increase the risk of bacterial and fungal infections. In the countries of the European Union and the USA, such occupational risks are actively mitigated with the help of specialized barrier creams and protective coatings with the addition of active ingredients — zinc, allantoin, and silicone polymers. In the Russian Federation, the use of similar tools is limited, which underscores the need to study and implement modern domestic solutions. The purpose of this work is to study the protective, antimicrobial, and wound-healing properties of a multicomponent composition based on a modified guanidine copolymer "Teflex A" supplemented with a number of biologically active components. The composition of the drug includes glycerin, guar gum, snail mucosa extract (*Achatina fulica*), acidophilic lactobacilli, and coliprotein bacteriophage. It is assumed that this composition has the potential not only to effectively protect the skin from the effects of aggressive chemicals but also to stimulate tissue regeneration processes, as well as to prevent the development of bacterial complications. As part of the work carried out, the task was set to evaluate the effectiveness of the proposed composition under the influence of various aggressive factors in the conditions of model in vitro and in vivo experiments. Special attention is paid to the study of the composition's ability to reduce the irritating effect of cement-containing solutions, bitumen, fuel oil, and organic solvents, as well as its ability to accelerate wound healing and inhibit the growth of pathogenic microorganisms.

Keywords: antibacterial effect; hand skin protection; antiseptic preparation; disinfectant antiseptic "Teflex A"

For citation: Research on hand skin protection agent from negative effects of microorganisms, cement, bitumen, fuel oil, and solvents in construction / D.D. Svetlov, V.V. Nazarova, D.A. Svetlov, A.A. Kharlanova // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 82-87. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_82.



Введение. Безопасность труда является одним из фундаментальных аспектов любой профессиональной деятельности. В строительной сфере, где рабочие подвергаются воздействию агрессивных химических веществ, обеспечение защиты кожи рук приобретает особую значимость, так как именно руки чаще всего остаются незащищёнными и подвергаются повреждениям. Кожа рук может подвергаться не только механическим травмам, но и химическим ожогам, термическим повреждениям, ссадинам и трещинам от воздействия агрессивных веществ [16-17].

Важно отметить, что в ряде профессий, особенно связанных с тонкими ручными операциями и высокой точностью движений, использование традиционных средств защиты, таких как перчатки, не всегда возможно из-за ограничения тактильной чувствительности. Для высококвалифицированных мастеров это становится критичным. Поэтому исследование эффективного защитного средства для кожи рук, предназначенного для работников строительной отрасли и сферы ЖКХ, представляет собой актуальную научную задачу.

Актуальность и практическая значимость данной работы обусловлены ростом интереса к средствам, способным не только защищать кожу от химических и биологических факторов, но и предотвращать инфицирование микротравм, а также ускорять процесс заживления. Повреждения кожи рук являются частым явлением в строительной сфере, где механические и температурные травмы происходят регулярно [18-19].

Целью настоящей работы является проведение комплексного исследования эффективности многокомпонентного защитного средства для кожи рук с биоцидными и ранозаживляющими свойствами на основе антисептического раствора «Тефлекс А» производства ООО «Софт Протектор» (патент RU 2287325 C2) [3]. В состав препарата входят полифункциональные присадки — биологически активные добавки, усиливающие функциональные свойства основного антисептика. Эти присадки обладают ранозаживляющим, противовоспалительным и антимикробным действием, способствуют ускоренному восстановлению кожных покровов [2].

Ранозаживление — это сложный физиологический процесс, включающий воспалительную фазу, пролиферацию клеток и ремоделирование тканей. Базовый антисептик «Тефлекс А», обладая плёнкообразующими и антисептическими свойствами, обеспечивает первичную защиту раневой поверхности и снижает бактериальную нагрузку. Однако для стимуляции клеточной регенерации и ускорения репаративных процессов требуются дополнительные активные компоненты. [] В качестве таких компонентов были выбраны ацидофильные лактобакте-

рии, колипротейный бактериофаг и слизистый экстракт улитки (*Achatina fulica*) [1, 5].

Лактобактерии создают кислую среду, угнетающую рост патогенных микроорганизмов, и обладают иммуномодулирующими свойствами. Колипротейный бактериофаг демонстрирует специфическую активность против бактерий рода *Escherichia coli*, способствуя чистоте раневой поверхности и ускорению заживления. Слизистый экстракт улитки, богатый мукополисахаридами, аллантоином и биологически активными белками, активирует процессы пролиферации клеток и способствует быстрой эпителизации кожи.

Гипотеза настоящего исследования заключается в том, что использование многокомпонентного защитного средства на основе «Тефлекс А» с полифункциональными присадками позволит не только эффективно защищать кожу рук от агрессивных факторов, но и значительно ускорить заживление повреждений, превзойдя по эффективности и стоимости существующие коммерческие аналоги [5-6].

Материалы и методы

Эксперимент проводился диссодиффузионным методом при посеве бактерий *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis* для оценки бактерицидной активности, а также методом сравнительного анализа *in vivo* на лабораторных животных для исследования заживляющей активности [4].

Первый этап включал разработку оптимального состава гелеобразного средства. Были приготовлены три варианта композиций с различными загустителями и консервантами. В результате оптимальным оказался состав №3 с добавлением гуаровой камеди, глицерина, бензоата натрия и аллантоина, обладающий стабильной гелеобразной текстурой и пролонгированным действием.

Второй этап был направлен на усиление ранозаживляющих свойств средства путём введения биологических компонентов: ацидофильных лактобактерий, колипротейного бактериофага и слизистого экстракта улитки (СЭУ). Эти добавки позволяют создавать различные версии средства для использования в разных условиях: для антисептической обработки при микроразрывах и для защиты рук при работе с химически активными или биологически загрязнёнными средами.

Третий этап включал эксперимент по изучению заживляющей активности образцов на лабораторных мышах. Эксперименты были проведены согласно действующим биоэтическим стандартам и показали, что образец с добавлением колипротейного бактериофага обладает наибольшей эффективностью, демонстрируя сокращение времени полного заживления ран до 12 суток.

Таким образом, проведённое исследование подтверждает гипотезу о целесообразности приме-



Таблица 1 – Динамика заживления площади

День	1	3	5	7	9	10	11	12	13
Образец	размер раневой поверхности (см)								
БП+лактобактерии	0,8±0,2	0,7±0,2	0,65±0,2	0,6±0,2	0,6±0,2	0,5±0,2	0,4±0,2	0,3±0,2	0,1±0,2
БП+бактериофаг	0,8±0,2	0,65±0,2	0,55±0,2	0,45±0,2	0,3±0,2	0,2±0,2	0,15±0,2	0	0
БП+СЭУ	0,8±0,2	0,7±0,2	0,6±0,2	0,4±0,2	0,35±0,2	0,2±0,2	0,15±0,2	0,1±0,2	0
Клей БФ-6	0,8±0,2	0,7±0,2	0,65±0,2	0,6±0,2	0,5±0,2	0,45±0,2	0,4±0,2	0,3±0,2	0,2±0,2
Контроль	0,8±0,2	0,7±0,2	0,65±0,2	0,65±0,2	0,55±0,2	0,5±0,2	0,4±0,2	0,3±0,2	0,2±0,2

нения комплексного защитного средства на основе «Тефлекс А» с биологически активными присадками для обеспечения защиты кожи и ускорения заживления повреждений [7].

Из данных таблицы следует, что образцом с наиболее эффективным заживляющим действием оказался образец с составом на основе «Тефлекс А» + колипротейный бактериофаг. После его использования наблюдалось самое быстрое заживление ткани [13].

Четвертым этапом был эксперимент по выявлению бактерицидного действия образца на бактериальных средах. По результатам эксперимента по выявлению ранозаживляющего действия образцов на лабораторных мышах был выявлен самый эффективный состав – защитное средство с добавлением колипротейного бактериофага. Так как само защитное средство без дополнительных компонентов уже имело в составе антисептическое вещество – комплекс сополимеров гуанидина, то было принято решение проверить не понесло ли за собой потерю антибактериальных свойств, изначально заложенных в характеристиках Тефлекс А, добавление колипротейного бактериофага.

Для приготовления питательной среды LB измеряем с помощью весов 10 г триптона, 5 г экстракта дрожжей и 10 г NaCl. Далее добавляем все ингредиенты в стеклянную колбу и доливаем дистиллированную воду до объема 1 литр. Перемешиваем смесь с помощью магнитной мешалки или стеклянной палочки до полного растворения всех компонентов. Добавляем 12 г агара и перемешиваем. Выполняем корректировку pH до 7,0, переливаем LB-среду в автоклавируемую емкость и стерилизуем в автоклаве при 121 °C в течение 15–20 минут. После стерилизации даем среде немного остыть.

В это время подготавливаем разные концентрации защитного средства. В первую пробирку набираем 44 мкл (концентрированное вещество), во вторую 36 мкл воды и 4 мкл вещества из 1 пробирки (получаем разбавление в 10 раз), в 3 пробирку добавляем 36 мкл воды и 4 мкл из 2 пробирки (получаем разбавление в 100 раз). Далее выкладываем 15 дисков и смачиваем их разными концентрациями вещества из пробирок по 5 дисков на один вид концентрации. На застывшие среды распределяем бактерии *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis*. На засеянную

среду выкладываем диски, смоченные разными концентрациями вещества и отправляем чаши Петри в теплое темное место для роста бактерий.

Спустя трое суток проводились замеры зоны лизиса и фиксировались в виде графика (рис.1).

Оценка антибиотической активности образца на основе «Тефлекс А» с добавлением бактериофагов 50% в его исходной концентрации, а также при разведениях в 10 и 100 раз проводилась методом дисков на бактериях *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis* по зоне лизиса.

По результатам проведенных исследований установили, что наибольшая зона лизиса, радиус которой был равен 2 мм, встречалась на посеве бактерий *Escherichia coli* в исходной концентрации препарата защитного средства [12].

Таблица 2 – Зависимость ширины зоны лизиса на посеве бактерий *Bacillus subtilis* от концентрации защитного средства с добавлением колипротейного бактериофага

№	Концентрация	Зона лизиса (мм)	Ошибка среднего
1	1/1	0,66	±0,03
2	1/10	0,48	±0,01
3	1/100	0,2	±0,05

Таблица 3 – Зависимость ширины зоны лизиса на посеве бактерий *Escherichia coli* от концентрации защитного средства с добавлением колипротейного бактериофага

№	Концентрация	Зона лизиса (мм)	Ошибка среднего
1	1/1	2	±0,02
2	1/10	0,8	±0,08
3	1/100	0,36	±0,05

По данным таблицы 2 и таблицы 3 был составлен график антимикробной активности препарата защитного средства на основе «Тефлекс А» с добавлением колипротейного бактериофага (рис. 1). На данном графике по оси абсцисс располагаются концентрации препарата (исходная, разведение в 10 раз и разведение в 100 раз), а по оси ординат откладываются значения зоны лизиса в миллиметрах.

По данным графика отмечается более выраженное антибактериальное действие на посеве бактерий *Escherichia coli*, нежели на посеве бактерий *Bacillus subtilis*, особенно в исходной концентрации



вещества. При разведении препарата с добавлением колипротейного бактериофага в 10 и в 100 раз прослеживается также более выраженная антибактериальная активность в отношении бактерий *E. coli*. Данный результат можно обосновать добавлением в защитное средство колипротейного бактериофага, задача которого вызывать специфический лизис бактерий *E. coli*. Не менее важным фактом является то, что препарат с добавлением колипротейного бактериофага сохранил свою бактерицидную активность спустя полгода хранения в холодильнике [10, 14].

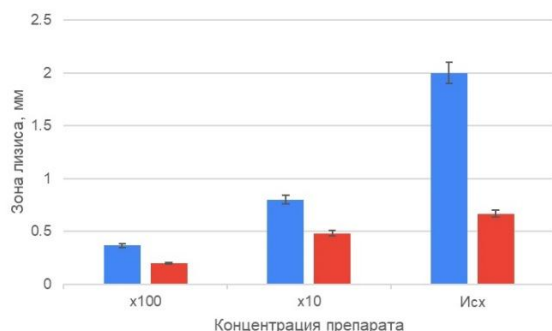


Рисунок 1. График антибактериальной активности препарата с добавлением колипротейного бактериофага в отношении бактерий *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis* (синим цветом на графике отмечена зависимость зоны лизиса от концентрации препарата в отношении бактерий *Escherichia coli*, красным цветом отмечена зависимость зоны лизиса от концентрации препарата в отношении бактерий *Bacillus subtilis*.)

Пятым этапом исследования стало проведение *in vivo*-эксперимента по оценке раздражающего действия разработанного защитного средства при контакте с агрессивными строительными материалами. Испытания проводились в соответствии с международными стандартами (в частности, методикой OECD 404) и с учётом требований российских ГОСТ (ГОСТ 32436-2020, ГОСТ 32373-2020).

В рамках эксперимента оценивалось влияние различных веществ — цемента, битума, мазута, органических растворителей и других загрязняющих агентов — на кожу при отсутствии и наличии защитного средства. Использовались стандартные тестовые поверхности, на которые наносили контролируемые количества агрессивных материалов, после чего фиксировались изменения состояния кожи (табл. 4).

Таблица 4 — Влияние агрессивных материалов на кожу при отсутствии и наличии защитного средства

Вещество	Без средства (индекс раздражения)	Со средством (индекс раздражения)
Цемент (щёлочесобразный)	4	0
Битум (асфальт)	3	0
Мазут	3	1
Органический растворитель	5	2
Прочие химические загрязнители	2	0

Результаты, представленные в таблице 4 показали, что без использования защитного средства контакт кожи с цементом вызывал выраженное раздражение (4 балла по принятой шкале), тогда как при нанесении разработанного защитного геля на основе «Тефлекс А» повреждений не наблюдалось (0 баллов). Аналогичная картина наблюдалась при контакте с битумом и мазутом: без защиты регистрировалась средняя степень раздражения (3 балла), тогда как с защитой эти показатели снижались до минимальных значений (0–1 балл). Органические растворители вызвали наиболее сильную реакцию кожи без защиты (5 баллов), но при использовании защитного средства степень раздражения снижалась до 2 баллов.

Дополнительно оценивались повреждения кожи при контакте с другими загрязняющими веществами (например, мелкодисперсной цементной пылью), и во всех случаях применение защитного состава демонстрировало эффективность барьерной защиты [11].

Таким образом, проведённый пятый этап эксперимента подтвердил, что разработанное средство на основе «Тефлекс А» не только эффективно предотвращает повреждение кожи, но и обладает потенциалом стать функциональной альтернативой традиционным средствам защиты в тяжёлых условиях строительной деятельности [14].

Заключение. Полученные результаты комплексного исследования свидетельствуют о том, что обработка повреждённой кожи рук или профилактическое применение защитного средства на основе модифицированного сополимера гуанидина «Тефлекс А» с добавлением колипротейного бактериофага обеспечивает надёжную защиту кожных покровов от агрессивных химических и биологических факторов, проявляя выраженное антимикробное и ранозаживляющее действие. Введение именно колипротейного бактериофага в состав средства позволило значительно усилить антибактериальный эффект за счёт его способности специфически лизировать патогенные штаммы бактерий, в частности *Escherichia coli*, что является критически важным для предупреждения инфицирования микротравм.

Применение средства способствует не только предотвращению повреждений кожи при контакте с цементом, битумом, мазутом, растворителями и другими загрязнителями, но и ускоряет процессы репарации тканей, сокращая сроки заживления ран. Это особенно актуально для строительной отрасли и сферы жилищно-коммунального хозяйства, где риск повреждений кожи и инфицирования остаётся высоким [13].

Предложенное исследование открывает путь к масштабному производству и внедрению данного защитного средства в практику строительных и ре-



монтажных работ. Включение в формулу колипротейного бактериофага в сочетании с другими биологически активными компонентами превращает средство в инновационную альтернативу традиционным барьерным кремам и перчаткам, обеспечивая не только защиту, но и активное участие в процессе восстановления кожи.

Библиографический список

1. Антимикробное действие препаратов на основе полигексаметилгуанидина. URL: <https://science-biology.ru/ru/article/view?id=1336/> (дата обращения: 7.04.2024)
2. Баврина А. П. Современные правила применения параметрических и непараметрических критериев в статистическом анализе медико-биологических данных // Медицинский альманах. 2021. №1 (66). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-pravila-primeneniya-parametricheskih-i-neparametricheskih-kriteriev-v-statisticheskom-analize-mediko-biologicheskikh> (дата обращения: 24.04.2024).
3. Изучение ранозаживляющего действия геля на основе хитозана с таурином и аллантоином // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 4. — URL: www.science-education.ru/127-21247 (дата обращения: 7.04.2024)..
4. Миронов А.Н., Бунатян Н.Д. Руководство по проведению доклинических испытаний лекарственных средств. М., 2012; 740 с.
5. Светлов, Д. Д. Влияние состава соединения на основе полигексаметиленгуанидин гидрохлорида на процесс ранозаживления у мышей / Д. Д. Светлов, Е. Б. Аронова, Л. А. Краева // Биотехнологии и безопасность в техносфере : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 11–12 апреля 2023 года. — Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. — С. 218-219. — EDN DNHJOT.
6. Абрикосова Ю.Е. Разработка и исследование лекарственных форм с антисептиками гуанидинового ряда, Диссертация кандидата фармацевтических наук: 15.00.01. М.: 2005; С. 186.
7. Белоусов Ю.Б. Антибиотикотерапия сегодня: Вопросы врачебной практики, 2010; С. 54-57.
8. Воинцева И.И., Гембицкий П.А. Полигуанидины — дезинфекционные средства и полифункциональные добавки в композиционные материалы, М.: ЛКМ-пресс. 2009. С. 303 .
9. Дерябин, Д. Г. Бактериальная биолюминесценция: фундаментальные и прикладные аспекты / Д. Г. Дерябин. — Новосибирск: Наука, 2009. — 245 с.
10. Егоров Н. С. Основы учения об антибиотиках: Учеб. для студентов биолог. спец. ун-тов.-4-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1986.-448 с.
11. Завильгельский, Г. Б. Оценка токсического действия наноматериалов на живые организмы [Текст] / Г. Б. Завильгельский, В. Ю. Котова, С. А. Хрульнова, И. В. Манухов / Биотехнология. — 2013. — № 6. — С. 8 – 17
12. Зайцев В.М., Савельев С.И. Практическая медицинская статистика: Учебное пособие под редакцией академика РАМН, профессора, д.м.н., заслуженного деятеля науки России А.И. Потапова и профессора, д.м.н. О.Г. Хурцилава, Тамбов: ООО «Цифра», 2013. С. 578- 580.
13. Кузнецова Л.С. Полимерный биоцид пролонгированного действия, Москва, МГУП 2001; С. 170.
14. Лазарев Н.В. Воспроизведение заболеваний у животных для экспериментально-терапевтических исследований, Москва: МедГИЗ, 1954; 67 с.
15. Майчук Ю.Ф. Современные возможности лечения раневых инфекций: Труды XVII Роснацонгресса «Человек и лекарства», Москва 2011; С. 215-225.
16. ГОСТ 32634-2020. Продукция химическая. Методы оценки кожной коррозии in vitro. — Введ. 2020-12-01. — М.: Стандартиформ, 2020. — 13 с.
17. ГОСТ 32373-2020. Продукция химическая. Методы испытаний по оценке острой токсичности при накожном поступлении. — Введ. 2020-12-01. — М.: Стандартиформ, 2020. — 12 с.
18. ГОСТ 32436-2020. Продукция химическая. Методы испытаний по оценке раздражающего и разъедающего действия на кожу. — Введ. 2020-12-01. — М.: Стандартиформ, 2020. — 15 с.
19. ГОСТ 34637-2020. Продукция химическая. Разъедание кожи in vitro. Метод измерения черезкожного электрического сопротивления. — Введ. 2020-12-01. — М.: Стандартиформ, 2020. — 14 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 28.07.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2024.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 28.07.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ

Материалы конференций

УДК 69

ГРНТИ: 67 Строительство и архитектура; 30.19.53: Прочность строительных конструкций

БАК: 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела; 2.1.1. Строительные конструкции, здания

и сооружения; 2.1.5. Строительные материалы и изделия; 2.1.9. Строительная механика

doi:10.51608/26867818_2025_3_88

ОТЧЁТ О ПРОВЕДЕНИИ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ИННОВАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ»

© Авторы, 2025

SPIN: 6626-3274

ПИЧУГИН Анатолий Петрович

сопредседатель оргкомитета конференции, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник

Новосибирский государственный аграрный университет

(Россия, Новосибирск, e-mail: gmunsau@mail.ru)

ХРИТАНКОВ Владимир Федорович

сопредседатель оргкомитета конференции, доктор технических наук, профессор

Новосибирский государственный аграрный университет

(Россия, Новосибирск)

Аннотация. С 9 по 13 июля 2025 года в конференц-зале базы отдыха «Бухта Лазурная», расположенной в живописном месте на берегу озера Чаны в Новосибирской области, состоялась Международная научно-практическая конференция «ИННОВАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ». Организаторами данного интересного мероприятия выступили Новосибирский государственный аграрный университет и Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет при финансовой поддержке ООО «Карачинский источник». Информационную поддержку оказали Объединенная редакция научно-технических журналов «Жилищное строительство» и «Строительные материалы»[®]; а также журнал «Эксперт: теория и практика». Данное мероприятие проходило в плановом согласовании с Российской академией естественных наук (РАЕН) и Академией проблем качества (АПК).

На этапе подготовки конференции планировалось заслушать более пятьдесят пять докладов и сообщений из тридцати городов России, стран СНГ и других государств. Предусматривалось заслушивание докладов и онлайн.

Ключевые слова: строительные материалы; строительные конструкции; строительная механика; механика деформируемого твердого тела; строительная отрасль; научно-техническая конференция

Для цитирования: Пичугин А.П., Хританков В.Ф. Отчёт о проведении международной научно-практической конференции «Инновации и цифровизация в строительном материаловедении» // Эксперт: теория и практика. 2025. № 3 (30). С. 88-93. doi:10.51608/26867818_2025_3_88.

Conference materials

REPORT ON CARRYING OUT THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE “INNOVATION AND DIGITIZATION IN CONSTRUCTION MATERIALS SCIENCE”

© The Author(s) 2025

PICHUGIN Anatoly Petrovich

Co-Chairman of the Conference Organizing, Committee Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher

Novosibirsk State Agrarian University (Russia, Novosibirsk)

KHRITANKOV Vladimir Fedorovich

Co-Chairman of the Conference Organizing, Committee Doctor of Technical Sciences, Professor

Novosibirsk State Agrarian University (Russia, Novosibirsk)



Abstract. From July 9 to 13, 2025, in the conference room of the recreation center “Lazurnaya Bay” located in a picturesque location on the shore of Lake Chany in the Novosibirsk region, took place the international scientific and practical conference “INNOVATION AND DIGITIZATION IN CONSTRUCTION MATERIALS SCIENCE”. The organizers of this interesting event were Novosibirsk State Agrarian University and Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, with the financial support of LLC “Karachinskystochnik”. Information support was provided by the joint editorial office of scientific and technical journals “Housing Construction” and “Building Materials” as well as the journal “Expert: Theory and Practice”. This event took place in planned coordination with the Russian Academy of Natural Sciences and the Academy of Quality Problems. The conference participants overwhelmingly acknowledged the event's usefulness, the high quality of the information content, and the originality of numerous developments. They also expressed their gratitude to other organizers.

Keywords: building materials; building structures; construction mechanics; mechanics of deformable solids; construction industry; scientific and technical conference

For citation: Pichugin A.P., Khritankov, V.F. Report on carrying out the international scientific and practical conference “Innovation and digitization in construction materials science” // Expert: theory and practice. 2025. № 3 (30). Pp. 88-93. (In Russ.). doi:10.51608/26867818_2025_3_88.

Перед началом открытия Пленарного заседания конференции сопредседатели мероприятия и все присутствующие тепло поздравили главного редактора издательства и журнала РИФ «Строительные материалы» Юмашеву Елену Ивановну с семидесятилетием журнала и вручили ей памятные сувениры.



Поздравление Е.И.Юмашевой и вручение сувенирного альманаха

С приветственными словами к участникам конференции обратились:



Приветственное выступление директора ООО «Карачинский источник» д.т.н., профессора Хританкова - хозяина базы «Бухта Лазурная»

от ОРГКОМИТЕТА и руководства ООО «Карачинский источник» доктор технических наук, профессор **Владимир Федорович Хританков**; от ректората НГАУ - доктор технических наук, профессор **Александр Сергеевич Денисов**; от ректората НГАСУ - доктор технических наук, профессор **Лилия Владимировна Ильина**. Все они поприветствовали собравшихся и пожелали успешной работы конференции.

С первым обзорным докладом на тему: «РОЛЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ» выступил доктор технических наук, профессор **Пичугин Анатолий Петрович** (содокладчики д.т.н., проф. Хританков В.Ф., д.т.н., проф. Денисов А.С.) Новосибирск, Россия.



Выступает д.т.н., проф. Пичугин А.П.

Он дал полный обзор состояния цифровизации в строительстве, как в рецептурном, так и в технологическом плане. Докладчик изложил последовательность перехода к цифровой технологии и основные этапы её реализации. В докладе были отмечены очевидные трудности перехода предприятий и организаций к цифровизации и несомненные преимущества данных тенденций по сравнению с традиционными приемами организации и управления в производстве строительных материалов.



Материалы конференций

Самым главным эффектом от введения «цифры» можно считать сокращение трудозатрат, снижение расхода материалов, ускорение выпуска продукции, повышение качества строительства.

О требованиях к научным публикациям в докладе **«НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПО НАУЧНЫМ ПУБЛИКАЦИЯМ И ИЗДАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»** рассказала Главный редактор журнала *Строительные материалы* **Юмашева Елена Ивановна** (содокладчик главный менеджер **Абакумова Т.А.**) Москва, Россия, которая детально разобрала основные современные требования к статьям, обзорам и монографиям в свете аккредитационных и рейтинговых оценок журналов и издательств. Особое место было уделено цитированию литературных источников и правильному оформлению рукописей.



Выступление Е.И.Юмашевой

воспринимать последующие слои материала. Отмечены новации в вопросах испытания слоистых материалов, т.к. на практике старые и существующие нормативные и методические указания не соответствуют фактической работе конструкций, изготовленных по аддитивной технологии. Поэтому сделано предложение о пересмотре существующих нормативов для данных видов материалов.

О высокопрочных бетонах и их эффективности в современных условиях доложил в своём выступлении **«ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ»** доктор технических наук, профессор **Тараканов Олег Вячеславович**, Пенза, Россия (содокладчики: академик РААСН, д.т.н., проф. **Ерофеев В.Т.**, Москва, Россия и д.т.н., проф. **Фишер Г.Б.**, Веймар, Германия).



Выступление д.т.н., проф. Тараканова О.В.

С очень интересным докладом **«АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ»** выступила доктор технических наук, профессор **Славчева Галина Станиславовна** из Воронежа (содокладчики: доктора технических наук, профессора - **Петропавловская В.Б.** (Тверь, Россия) и **Ляшенко Т.В.** (Одесса, Украина).



Выступление д.т.н., проф. Славчевой Г.С.

Большая часть выступления была отведена физико-химическим процессам формирования мелкозернистого бетона и отработке технологических режимов формирования прочной оболочки, способной

В докладе были определены основные принципы формирования плотной структуры при получении бетонов повышенной прочности. Особое место уделено подбору микрозаполнителей и специальных добавок, способствующих уплотнению и формированию нового класса бетонов, позволяющих резко снизить материалоемкость и массу строительных конструкций. Обозначены перспективы внедрения высокопрочных бетонов в современном строительном комплексе страны.



Выступление директора завода «Колорит» к.т.н., доц. Туляганова А.К.



О многолетней связи науки и производства представили свой совместный доклад директор завода «Колорит», кандидат технических наук, доцент **Туляганов Александр Константинович** и доктор технических наук, доцент **Пчельников Александр Владимирович** (содокладчик - д.т.н., проф. Пичугин А.П. – все из Новосибирска, Россия): «**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА**».

В докладе был дан анализ внедрению новых разработок рецептур защитных покрытий на основе инновационных идей и цифровизации, а также практическая реализации этих составов при строительстве различных зданий и сооружений из металлических конструкций.



Выступление д.т.н., доц. Пчельникова А.В.

Большое внимание докладчики уделили вопросу подготовки инженерных и производственных кадров по освоению новых технологий защиты металлоконструкций, а также современным методам диагностики состояния защитных покрытий и степени их износа в сложных климатических условиях.

Об опыте внедрения 3D-технологий в условиях сурового сибирского климата в докладе «**АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ**» очень интересно выступила доктор технических наук, профессор из Томска **Копаница Наталья Олеговна** (содокладчик - д.т.н., проф. Дашжамц Д. (Улан-Батор, Монголия).



Выступление д.т.н., проф. Копаница Н.О.

Она дала чёткий анализ возможностям использования новейших аддитивных технологий для различных элементов зданий и сооружений; местных сырьевых ресурсов, сложностях при эксплуатации объектов, возведенных по данной технологии. Отмечены узкие места в рецептурных и технологических параметрах данных способов возведения объектов. Определены наиболее приемлемые варианты построек, способных длительно эксплуатироваться в условиях сибирского климата.

С большим интересом все приняли выступление доктора технических наук, профессора **Хозина Вадима Григорьевича** (содокладчик - д.т.н., проф. Низамов Р.К. (Казань, Россия) с докладом на тему: «**ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ - ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ БЕССМЫСЛЕННОСТЬ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ УЩЕРБНОСТЬ БОРЬБЫ С ПАРНИКОВЫМ ЭФФЕКТОМ**», который вызвал множество вопросов у участников конференции. В докладе был проанализирован большой объем публикаций и статистических данных о состоянии атмосферы, поверхности земли, изменении климата, воздушном и водном бассейнах и пр.



Выступление д.т.н., проф. Хозина В.Г.

По мнению **В.Г. Хозина**, базирующемся на фактических данных об экологическом состоянии нашей планеты, в настоящее время ни цементная промышленность, ни другие отрасли промышленности строительных материалов никак не оказывают существенного влияния на ухудшение экологической обстановки. Циклические процессы, связанные с особенностями планеты Земля наиболее могущественнее и обширнее по сравнению с техногенным влияниями на экологию.

О новых требованиях и преимуществах цифровизации в проектных и конструкторских решениях доложил Генеральный директор ООО «Стройтехэкспертпроект» к.т.н., доцент **Батин Максим Олегович** в докладе «**НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ В СВЕТЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ**». Важным достижением, по мнению выступающего, явилась оптимизация согласования различных проектных и конструкторских решений; ускорение про-



цесса согласования и оформления разрешительной и технической документации. Внедрение электронных подписей и номенклатуры материалов и изделий способствуют повышению качества проектных и изыскательских работ. Кроме того, стало проще согласовывать с заказчиками внедрение новых рецептур материалов и изделий.

«ПУТИ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ» - тема большого комплексного доклада кандидата технических наук, доцента **Макаренко Сергея Викторовича**, Иркутск, Россия (содокладчик - д.т.н., проф. **Хозин В.Г.**, Казань, Россия). В докладе сделан обзор всей золошлаковым отходам Забайкалья и возможным путям их эффективного использования.



Выступление к.т.н., доц. Макаренко С.В.

Авторы разработали рациональные рецептуры минеральных вяжущих и керамических изделий с максимальным применением золошлаковых отходов Иркутской области. При этом проанализированы различные составы и дана их экономическая, технологическая и рецептурная оценка с позиций современных представлений о минеральных вяжущих и клинкерных материалах.

Примером эффективного сочетания цифровизации и инноваций в области производства керамических изделий стал доклад **«ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ СЭМ-ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОЛЬНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ»**, сделанный доктором технических наук, профессором из Новокузнецка **Столбовским Андреем Юрьевичем** (содокладчики - **Истерин Е.В.**, Новокузнецк, Россия и **Фомина О.А.**, Москва, Россия). Оригинальность реализации идей авторов вылилась в получении высокоэффективных керамических изделий с использованием техногенных зольных отходов, ранее неиспользуемых в производстве строительных материалов. Новый оригинальный подход на основе тщательно проработанных и изученных физико-химических процессов позволил обеспечить высокие прочностные и эксплуатационные показатели выпускаемых изделий.

«КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ С ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ» - тема доклада кандидата технических наук, доцента **Смирновой Ольги Евгеньевны** (содокладчики: д.т.н., проф. **Пичугин А.П.** (Новосибирск, Россия) и д.т.н., проф. **Ляшенко Т.В.** (Одесса, Украина). Исследователями предложена оригинальная технология получения теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных композитов, позволяющих использовать как отходы растительного происхождения, так и полимерные отходы. При этом, расход связующего сокращается в пять-шесть раз, а прочность композита обеспечивается за счет модифицирования полимерных отходов. Таким методом получены теплоизоляционные плиты и гранулы для засыпок и использования в легких бетонах.

Доктор технических наук, профессор из Ростов-на-Дону **Моргун Любовь Васильевна** с содокладчиком **Моргуном В.Н.** посвятили свой доклад **«АДГЕЗИОННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПЕНОБЕТОННЫХ СМЕСЯХ НА ЭТАПЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА»** процессам формирования устойчивых связей в пенобетонных смесях на различных стадиях изготовления и твердения легкого бетона. Авторами использован широкий арсенал физико-химических методов исследований, позволивших установить некоторые закономерности и особенности формирования пенобетонной структуры. Это способствовало аргументированной стабилизации свойств эффективного материала и повышению его качества.

«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА СИЛИКАТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ШИХТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ» - тема выступления доктора технических наук, профессора **Верецагина Владимира Ивановича**, Томск, Россия (содокладчики: д.т.н., проф. **Бик Ю.И.** (Новосибирск, Россия), д.т.н., проф. **Duinkherjav Yagaanbuyant** (Ulaanbaator, Mongolia). В докладе был представлен обширный материал многолетних исследований по моделированию и подбору оптимальных составов силикатных материалов с учетом фазового состава исходного сырья. Использование компьютерного и цифрового моделирования позволило обеспечить высокий уровень качества выпускаемых изделий на основе местных сырьевых ресурсов.

Достаточно информационными и интересными были выступления других участников пленарного заседания. Среди них следует отметить доклад доктора технических наук, профессора **Белана Василия Ивановича**

«РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ» (содокладчики: д.т.н., проф. **Себелев И.М.** (Новосибирск, Россия) и



д.т.н., проф. **Леонович С.Н.** (Минск, Белоруссия); доклад **доктора технических наук, профессора Петропавловской Виктории Борисовны** (Тверь, Россия) «ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛ-УНОСА С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ СВОБОДНОГО ОКСИДА КАЛЬЦИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ»; доклад **доктора технических наук, профессора Плетнева Петра Михайловича** (содокладчик Семанцева Е.С. (Новосибирск, Россия): «ДОСТИЖЕНИЕ ВЫСОКО-ПЛОТНОГО СОСТОЯНИЯ АЛЮМО-ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ РЕЖИМАМИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЖИГА И КРАТКОВРЕМЕННОГО ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ»;

В свободное от заседаний время участники насладились прогулками по озеру Чаны, где наблюдали стаи пеликанов и их гнездовья, обитающих на этих благодатных территориях озера Чаны. Для тех, кто впервые посетил этот дивный уголок сибирской природы, была организована экскурсия на завод по производству минеральной воды ООО «Карачинский источник» с посещением курорта «Озеро Карачи». Этот курорт входит в десятку самых лучших курортов страны и ему в конце лета исполняется 145 лет. Он оснащён самым современным оборудованием, имеет целый набор ценных природных лечебных факторов: солевые растворы (рапа, целое



сообщение **доктора технических наук, профессора Хозина Вадима Григорьевича** и аспиранта **Гулякова Е.Г.** (Казань, Россия) на тему: «ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ЦЕМЕНТЫ НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ ДЛЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ» и др.

По каждому докладу и выступлению задавалось много различных вопросов, велось бурное обсуждение не только в период заседания конференции, но и в кулуарах и во внерабочее время. К сожалению несколько докладчиков по разным причинам не смогли принять участие в работе научного форума.

озеро), уникальные грязи, минеральная вода, йодобромный источник.

По окончании работы конференции участники сфотографировались на фоне баннера «Бухта Лазурная».

По общему мнению участников проведенной конференции все признали полезность данного мероприятия, высокую информативность, оригинальность многих разработок и выразили благодарность его организаторам.

9-13 июля 2025 года, «Бухта Лазурная»

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Статья поступила в редакцию 01.08.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 17.09.2025.

The authors declare no conflicts of interests. The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The article was submitted 01.08.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 17.09.2025.

УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

АВТОРАМ

Автор(ы), самостоятельно направляя научную статью, принимают на себя следующие обязательства: передают редакции сетевого издания «ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА» неисключительные права на использование научной статьи путем ее воспроизведения, использования научной статьи целиком или фрагментарно в сочетании с любым текстом, фотографиями или рисунками, в том числе, путем размещения полнотекстовых сетевых версий номеров на интернет-сайте издания.

Автор(ы) несет (ут) ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права или «ноу-хау» в полном объеме в соответствии с действующим законодательством РФ.

Автор(ы) подтверждает (ют), что, направляемая статья публикуется впервые и не направлена в другое издание.

Автор(ы) согласен (ы) на обработку в соответствии со ст.6 Федерального закона «О персональных данных» от 27.07.2006 г. №152-ФЗ своих персональных данных, а именно: фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, место(а) работы и/или обучения, контактная информация по месту работы и/или обучения, в целях опубликования представленной статьи в сетевом издании.

Автор(ы) подтверждает (ют), что направляемая научная статья не содержит сведений или информации с ограниченным доступом и для ее публикации не требуется разрешение Минобрнауки или других министерств и ведомств.

Автор(ы) научной статьи ознакомлен (ы) и согласен (ы) со следующими условиями:

- авторские права на научную статью принадлежат автору(ам) данной статьи;
- авторские права на номер сетевого издания (в целом) принадлежат учредителю сетевого издания;
- редакция сетевого издания имеет право предоставлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования;
- редакция сетевого издания имеет право производить необходимые уточнения и сокращения;
- вознаграждение (гонорар) за опубликованные статьи не выплачивается, материалы научных статей, направляемые в редакцию, авторам не возвращаются.

При этом авторы имеют право использовать все материалы в их последующих публикациях при условии, что будет сделана ссылка на публикацию в нашем сетевом издании.

Если при верстке в **ИнДизайне** или загрузке в **РИНЦ** (*они видят всё*) у вас в статье будет обнаружено замена однотипных букв из разных алфавитов, вставлены слова в виде формул или применены в словах некорректные символы с целью увеличения оригинальности текста (к сожалению Word и Антиплагиат этого не видят) – статья будет **удалена**, а вся информация будет передана вашей организации.

*Редакция сетевого издания
«ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»*



ТРЕБОВАНИЯ К ПУБЛИКАЦИЯМ В ЖУРНАЛЕ

«ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»

(включен в **категорию K2 перечня ВАК**, пятилетний импакт-фактор в РИНЦ – 0,736)

Сайт: <https://www.expert763.ru/>

Научные специальности:

- 2.1.1. – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.5. – Строительные материалы и изделия (технические науки);
- 2.1.9. – Строительная механика (технические науки);
- 1.1.8. – Механика деформируемого твердого тела (технические и естественные науки);

Размещение статей в сетевом издании платное.

Оплата производится после получения вами **сообщения** о приеме статьи к публикации, после чего автором высылается скриншот или фото оплаты через Сбербанк-онлайн или через другие банки-онлайн на адрес сетевого издания: expert763@mail.ru

Статью высылать по адресу: expert763@mail.ru

Материалы авторов (соавторов) не имеющих персональной регистрации в БД РИНЦ (SPIN-код, AuthorID) редакцией не рассматриваются, за исключением: если соавтором является доктор наук по специальности ВАК сетевого издания «Эксперт: теория и практика».

Редакция вправе отказать в размещении материалов автору, имеющему низкие наукометрические показатели в БД РИНЦ.

Структурные параметры:

Статья обязательно должна иметь элементы, отвечающие следующим параметрам:

1. Метаданные статьи на русском и английском языках (научная специальность, УДК, DOI, название статьи, знак копирайта (авторского права), **все научные идентификаторы автора**, ФИО автора полностью, должность, организация, адрес организации, личная электронная почта, аннотация и ключевые слова) – **не проверяются на антиплагиат.**

2. Тело статьи:

ВВЕДЕНИЕ

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами

(кратко описывается проблема исследования и значение ее решения)

Анализ последних исследований и публикаций, в которых рассматривались аспекты этой проблемы и на которых обосновывается автор; выделение неразрешенных раньше частей общей проблемы.

(указаны общие тенденции в том, что уже было опубликовано, указано на отдельную проблему или на перспективу развития по данной тематике)

Обосновывается актуальность исследования.

(подтверждена актуальность исследования, указано практическое значение статьи и ее вклад в науку)

МЕТОДОЛОГИЯ

Формирование целей статьи.

(указывается цель статьи)

Используемые методы, методики и технологии.

(а) описание методов, которые вы применяли конкретно для статьи, если теоретическая статья, то выбрать один метод и описать его методологию, теорию, историю, конкретно какие принципы этого метода применяли к данному исследованию;



б) описание этапов эксперимента, в) описание участников эксперимента (возраст, пол, вузы и какие площадки были охвачены)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.

(а) раскрыто новшество статьи, описаны авторские наблюдения и результаты;

б) представленные результаты соответствуют заявленным целям и задачам статьи;

в) описана идея, концепция, методика, которая нашла применение (конкретика);

г) представлены результаты в виде таблиц и рисунков - названия таблиц и рисунков отвечают содержанию таблиц и рисунков)

ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение полученных результатов с результатами в других исследованиях.

(а) сравнили различные методы, сравнили результаты исследования с аналогичными в других статьях;

б) написали о различиях или сходстве (или и о различиях, и о сходстве);

в) сделали разбор и разъяснение результатов;

г) сделали обобщение и оценку результатов, сделали оценку достоверности полученных результатов;

д) определили место полученных в ходе исследования результатов в структуре известных знаний)

ВЫВОДЫ

Выводы исследования.

(подводится итог статьи, указываются результаты, к которым пришли в результате проведенного исследования)

Перспективы дальнейших изысканий в данном направлении.

(указываются направления, по которым необходимо провести дальнейшие исследования)

3. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (не проверяется на антиплагиат).

(рекомендуется в списке литературы не менее 15 источников, 5 из которых за последние 5 лет (в 2023 году - это статьи 2019-2023 годов).

Технические параметры:

Названия файла:

- Фамилия город (например: **Иваненко Самара**)

Общий объем: 5-9 страниц печатанного текста формата А-4 (до списка литературы).

Стандарты: шрифт Times New Roman, **кегель – 14**, междустрочечный **интервал – 1,5**, абзацный отступ – **1 см** (это сделано для того, чтобы автор точно знал сколько страниц текста у него будет в журнале), все поля – **2 см**, литература – **В ПОРЯДКЕ ПОЯВЛЕНИЯ В ТЕКСТЕ** (желательно не менее 15 наименований, из них 5 (рекомендуется) – за последние 1-5 лет), редактор Word, тип файла – документ **Word 97-2003** (обязательно).

Ключевые слова (не менее 8 слов) и **аннотация** (не менее 150-200 слов) на русском и английском.

Неразрывные пробелы между цифрами, инициалами и фамилией.

Не путать тире (–) и дефис (-).

Формулы необходимо набирать в файле формата **Microsoft Word 2010** (используя опции "Вставка -> Формула"), а потом сохранять в **Word 97-2003**, в таком случае формулы становятся как картинки), размер символа - **10** (обязательно), длина формул не должна превышать **80 мм** (обязательно), латинские символы набираются курсивом, греческие – прямым шрифтом, **КИРИЛЛИЦА НЕ ДОПУСКАЕТСЯ**).

Рисунки, выполненные векторной графикой, должны быть помещены одним объектом или сгруппированы.

Сканированные рисунки исполнять с отдельной возможностью не менее 300 dpi.

Справочная информация:

1. Для определения УДК можно использовать следующие ссылки:

А) <http://teacode.com/online/udc/>



Б) <http://www.naukapro.ru/metod.htm>

2. Для проверки статьи на антиплагиат (проверка обязательна **в системе АнтиплагиатВУЗ** – все остальные дают неверные показатели) ссылка (оригинальность текста статьи должна быть не менее 75%, *в тексте статьи должно быть не менее 8000 и не более 40000 знаков без пробелов*):

А) <https://www.antiplagiat.ru/> (результаты хранятся у автора и высылаются по запросу редколлегии)

Статьи в обязательном порядке размещаются в системе РИНЦ – российского индекса научного цитирования (elibrary, ссылка: <http://elibrary.ru/titles.asp>), НЭБ КиберЛенинка (ссылка: <https://cyberleninka.ru>) и на сайте журнала.

Сетевое научно-практическое издание

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
№ 3 (30) 2025 г.

Главный редактор - Мурашкин Василий Геннадьевич,
кандидат технических наук, АНО "ИССТЭ", Тольятти

Scientific and Practical Online Edition

EXPERT: THEORY AND PRACTICE
№ 3 (30) 2025

Editor-in-Chief - Murashkin Vasily Gennadievich,
Candidate of Technical, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

Материалы представлены в авторской редакции
Дизайн обложки: e-mail: anna.sarachai@gmail.com

Подписано для публикации на сайте <http://expert763.ru> 23.09.2025.
Формат 60x84/8. Усл.-печ. л. 12,25.
Электронные текстовые данные (5,76 Мб). Распространяется бесплатно.

Учредитель, издатель и редакция журнала - АНО "ИССТЭ".
445047, Самарская область, г. Тольятти, Южное шоссе, дом 35А, офис 401,
+7(8482) 581090, <http://expert763.ru>, e-mail: expert763@mail.ru.

